

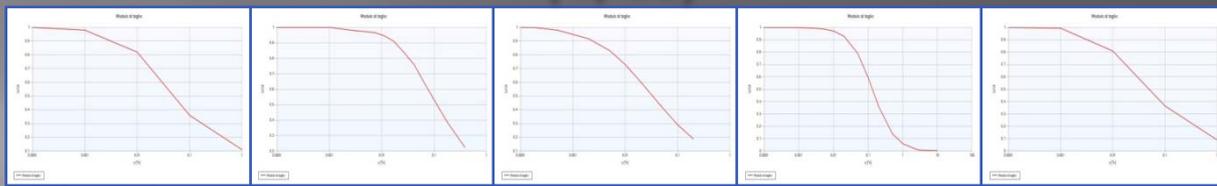
A - Implementazione del modello geologico (indagini geologiche e geognostiche)

Non sono sufficienti le analisi di laboratorio geotecnico "ordinarie" (taglio, triassiale, edometrica,

E' necessario definire le Curve di Smorzamento (G/G0) e Decadimento (D%)



(G/G0)



Riporti Argille e limi Sabbie alluvionali Argille org. - Torbe Argille, Limi palustri

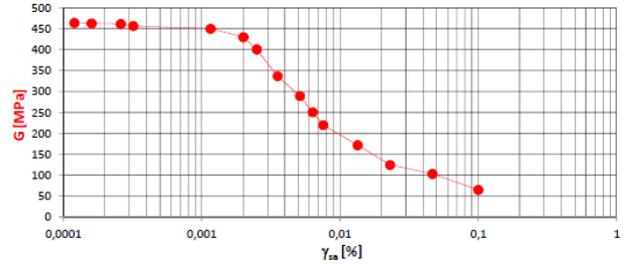
PROVA DI COLONNA RISONANTE

Pag. 3 di 3

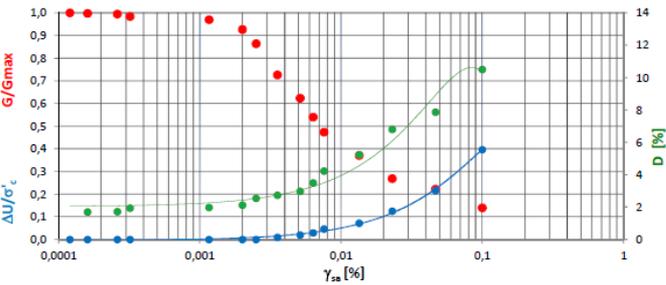
ASTM D4015-95

N.VERB.ACCETT./CAMP	1869-4	Data ricevimento	11/04/16	Rapp. di prova n.	1869-4	del	8/05/2016
		Data prelievo	-	Data inizio prova	03/05/16		
		Data apertura	03/05/16	Data fine prova	05/05/16		
COMMESSA	26-16	Sondaggio	S1	Tipologia campione	Rimaneggiato		
COMMITTENTE	PROVINCIA DI RIETI	Campione	PR1	Profondità (m)	9,00-12,00		
CANTIERE	PALAJOURNER -rieti						

Curva di decadimento



Curva di decadimento normalizzata



(D%)



Prove cicliche in colonna risonante

La procedura per gli studi di RSL

Lo studio di RSL passa attraverso 5 steps fondamentali

**A - Implementazione del modello geologico
(indagini geologiche e geognostiche)**

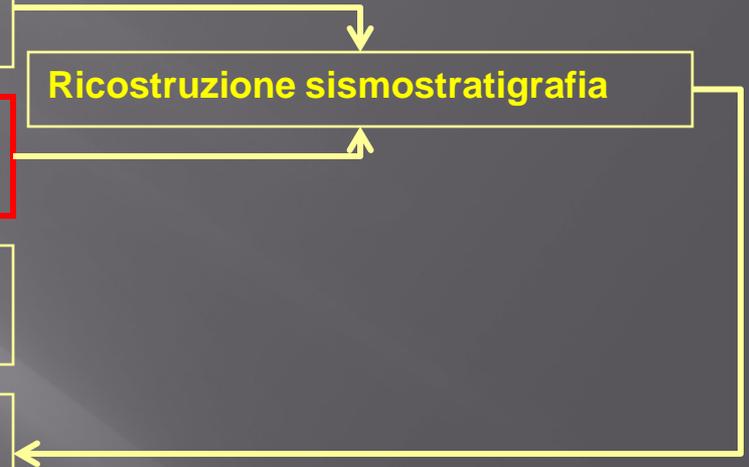
**B - Implementazione del modello geofisico
(indagini geofisiche)**

C - Definizione dell'input sismico (ricerca ed estrazione accelerogrammi)

D - Simulazione numerica con software specialistico

E - Confronto degli spettri di RSL con gli spettri di norma da NTC'08 ed indicazioni per lo strutturista

Ricostruzione sismostratigrafia



TECNICHE DI PROSPEZIONE

- PROSPEZIONI MASW (Onde superficiali – Vel. di Fase e di Gruppo)
- PROSPEZIONI ReMi (Onde superficiali – Vel. di Fase e di Gruppo)
- SISMICA IN FORO TIPO DOWN-HOLE
- SISMICA IN FORO TIPO CROSS-HOLE
- HOLISURFACE (Onde superficiali – Velocità di Gruppo)
- MISURE HVSR (Nakamura)

STRUMENTAZIONE MASW - ReMi

Sismografo multicanale



Geofoni



Cavo sismico



SISTEMI DI ENERGIZZAZIONE (Prove attive)

Massa battente



Fucile sismico

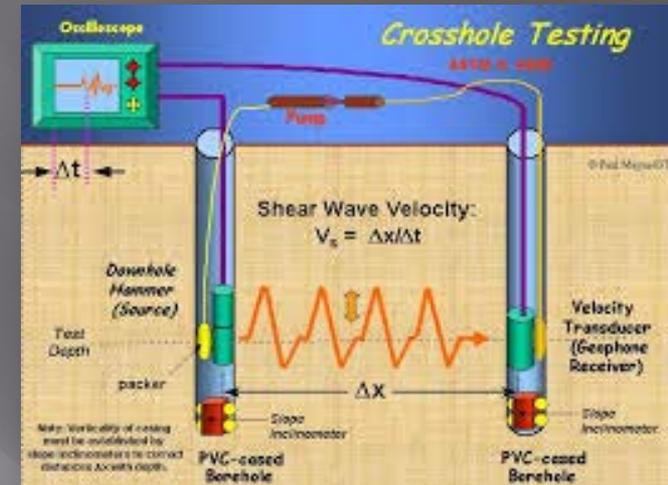
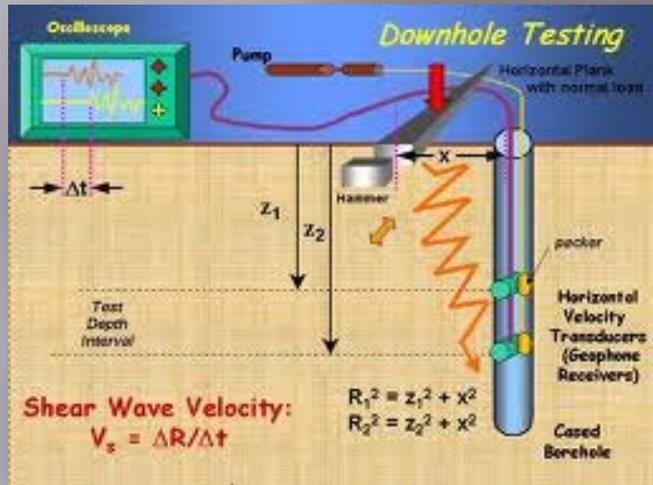


Esplosivo



B - Implementazione del modello geofisico (indagini geofisiche)

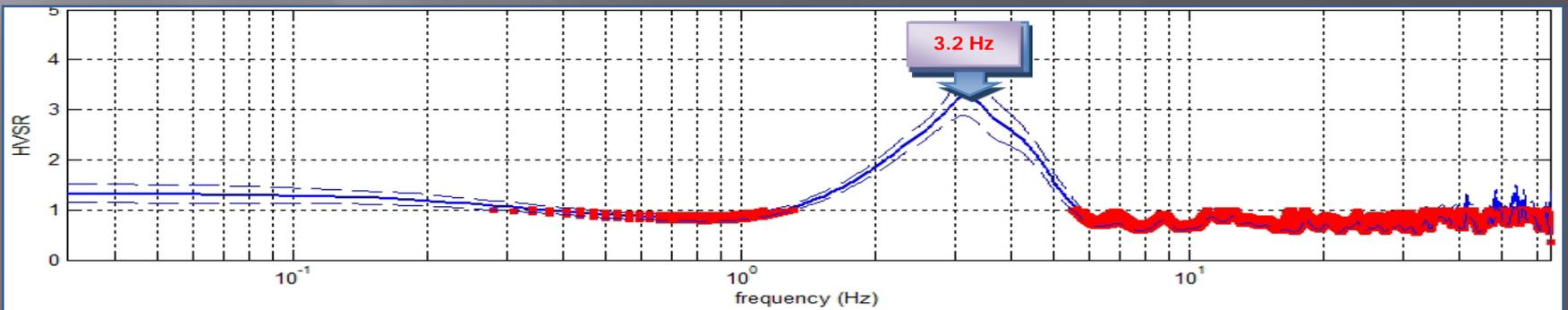
SISMICA IN FORO: DOWN HOLE – CROSS HOLE



- Più affidabili per la determinazione del parametro V_s 30 (V_{SH}) e del profilo di velocità delle onde S
- Costi maggiori rispetto alle prospezioni di superficie (MASW, ReMi), che comprendono anche la terebrazione ed il condizionamento di un foro di sondaggio, che diventano due nel caso delle cross hole
- Sono commissionate soprattutto dalle amministrazioni pubbliche e dai privati nell'ambito della progettazione di opere importanti
- Necessaria strumentazione allo stato dell'arte

B - Implementazione del modello geofisico (indagini geofisiche)

HVSR - Horizontal to Vertical Spectral Ratio

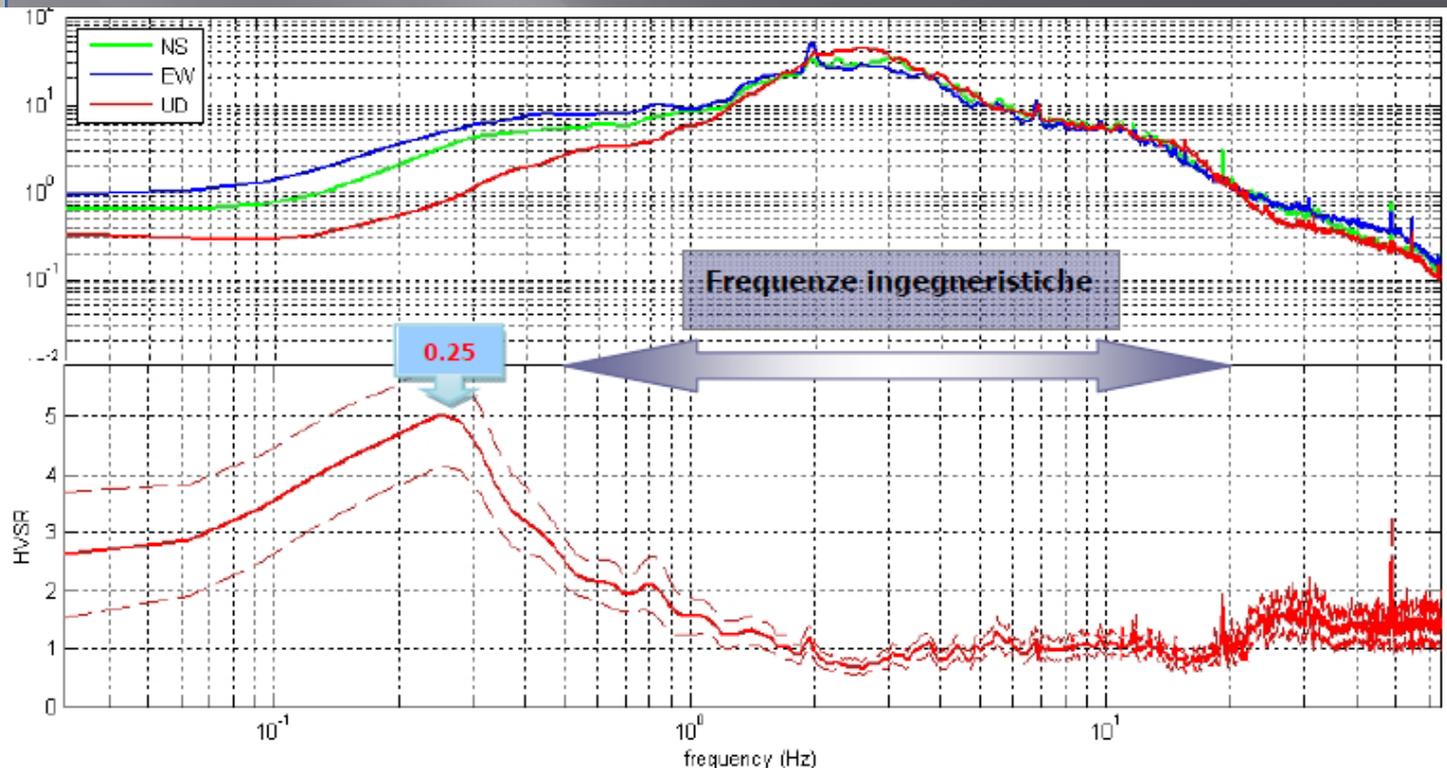


B - Implementazione del modello geofisico (indagini geofisiche)

HVSR – Horizontal to Vertical Spectral Ratio

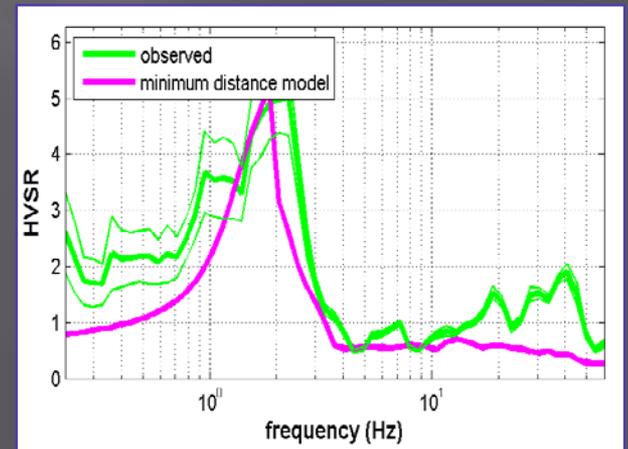
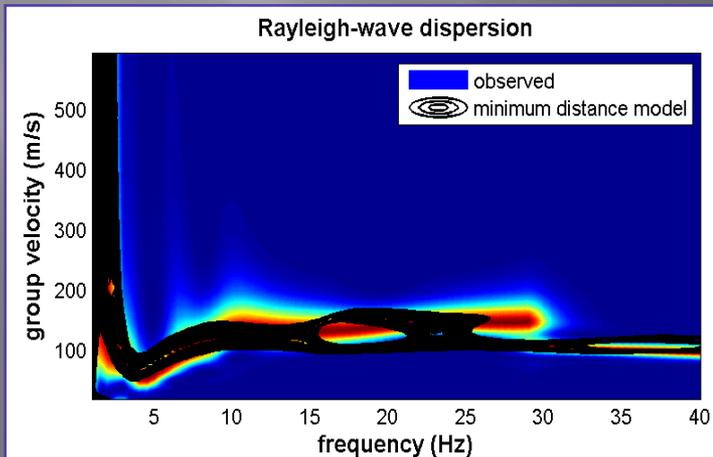
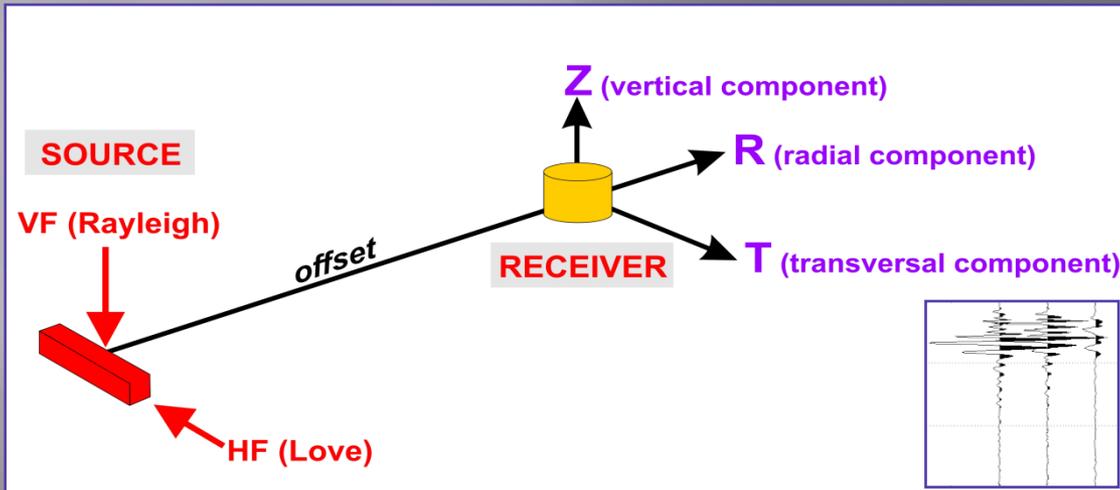


Lo strumento indicato funziona con una terna di sensori velocimetrici ad alta sensibilità ed alta stabilità, con frequenza naturale pari a 2 Hz: ciò consente di far conto su una sensibilità strumentale in grado di esplorare i campi di frequenza (ordine di 0,1 Hz) che interessano la prospezione



B - Implementazione del modello geofisico (indagini geofisiche)

HOLISURFACE



HOLISURFACE

Tale tipo di indagine è una evoluzione (oggetto di brevetto www.holisurface.com) del metodo di analisi delle velocità di gruppo, quindi basata sulla dispersione delle onde di superficie (velocità di gruppo; rapporto tra spazio e tempo di arrivo dell'onda frequenza per frequenza) e la sua analisi secondo l'approccio FVS (Full Velocity Spectrum).

L'acquisizione dei dati HS (attivi) avviene grazie ad un unico geofono triassiale. Lo stesso geofono è poi utilizzato per registrare i dati passivi utili a definire il rapporto spettrale H/V. I dati (attivi e passivi) sono poi analizzati congiuntamente.

Acquisire un dato per analisi HoliSurface® non è molto diverso rispetto alle tradizionali acquisizioni di sismica attiva (ad es. MASW).

La differenza sostanziale rispetto alla cosiddetta tecnica MASW, sta nel fatto che per effettuare acquisizioni e analisi HoliSurface®, invece di utilizzare n geofoni a componente singola, si utilizza un unico geofono a tre componenti (geofono triassiale) posto ad una certa distanza (offset) dalla sorgente e opportunamente orientato in modo da raccogliere i dati relativi alla componente verticale (Z), radiale (R) e trasversale (T).

(Giancarlo Dal Moro, 2020)

La procedura per gli studi di RSL

Lo studio di RSL passa attraverso 5 steps fondamentali

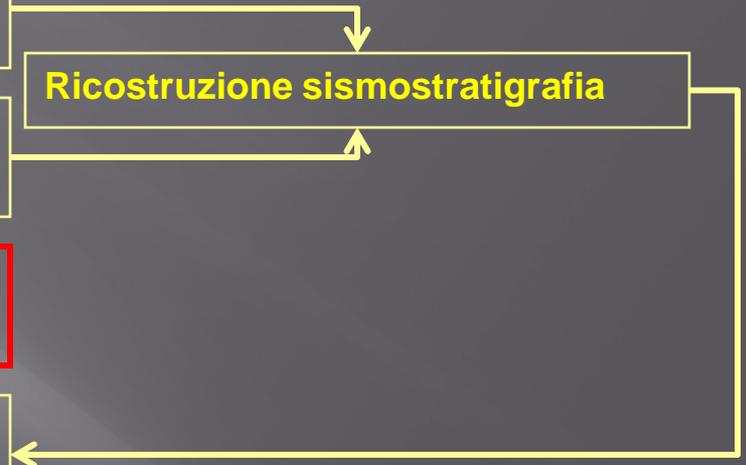
**A - Implementazione del modello geologico
(indagini geologiche e geognostiche)**

**B - Implementazione del modello geofisico
(indagini geofisiche)**

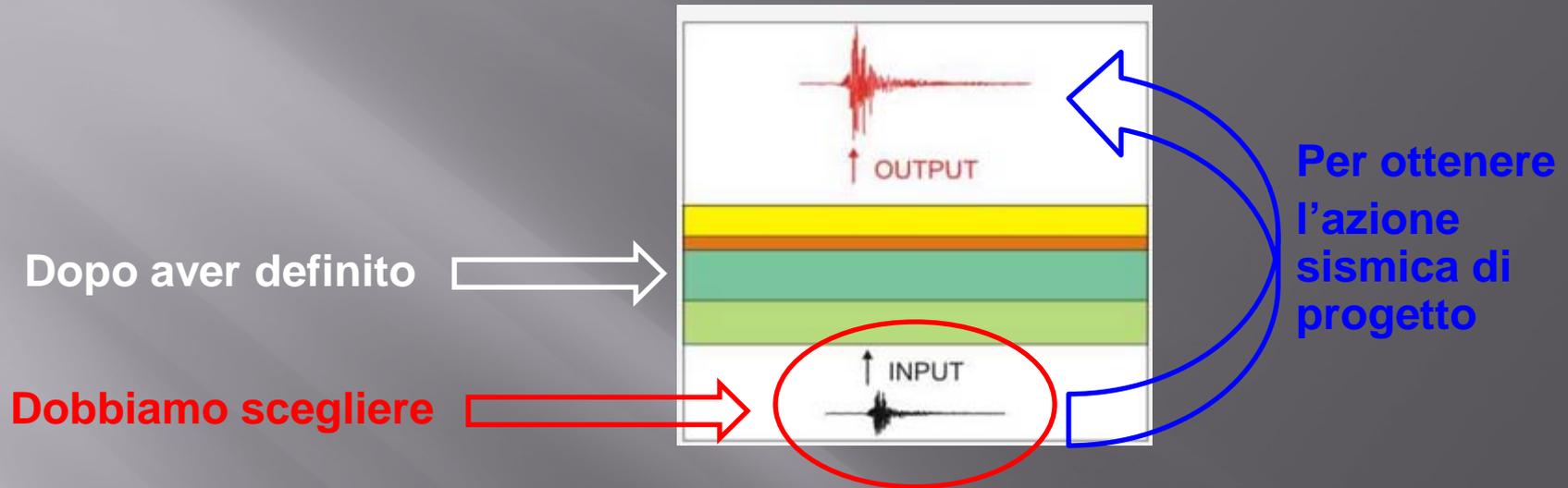
C - Definizione dell'input sismico (ricerca ed estrazione accelerogrammi)

D - Simulazione numerica con software specialistico

E - Confronto degli spettri di RSL con gli spettri di norma da NTC'08 ed indicazioni per lo strutturista



C – Definizione dell'input sismico (ricerca ed estrazione accelerogrammi)



ESISTONO 3 TIPI DI ACCELEROGRAMMI: NATURALI - ARTIFICIALI - SINTETICI

Questi ultimi sono molto difficili da definire e richiedono conoscenze molto dettagliate sulla sorgente sismica e sul suo modello fisico Di fatto sono ancora una competenza del mondo della ricerca

Per l'analisi dinamica delle strutture e terreni è consentito l'utilizzo di diversi tipi di accelerogrammi: artificiali, sintetici e registrati. Tuttavia, non è permesso l'uso di accelerogrammi artificiali nelle analisi dinamiche di opere e sistemi geotecnici (NTC2018), tra cui ricadono le analisi di risposta sismica locale. Per questi motivi, l'esecuzione di analisi di risposta sismica locale è usualmente basata su accelerogrammi naturali.

Dalle NTC 2018

3.2.3.6 IMPIEGO DI STORIE TEMPORALI DEL MOTO DEL TERRENO

Gli stati limite, ultimi e di esercizio, possono essere verificati mediante l'uso di storie temporali del moto del terreno artificiali o naturali. Ciascuna storia temporale descrive una componente, orizzontale o verticale, dell'azione sismica; l'insieme delle tre componenti (due orizzontali, tra loro ortogonali, ed una verticale) costituisce un gruppo di storie temporali del moto del terreno.

La durata delle storie temporali artificiali del moto del terreno deve essere stabilita sulla base della magnitudo e degli altri parametri fisici che determinano la scelta del valore di a_g e di S_g . In assenza di studi specifici, la parte pseudo-stazionaria dell'accelerogramma associato alla storia deve avere durata di 10 s e deve essere preceduta e seguita da tratti di ampiezza crescente da zero e decrescente a zero, in modo che la durata complessiva dell'accelerogramma sia non inferiore a 25 s.

Gli accelerogrammi artificiali devono avere uno spettro di risposta elastico coerente con lo spettro di risposta adottato nella progettazione. La coerenza con lo spettro di risposta elastico è da verificare in base alla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi, per un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ del 5%. L'ordinata spettrale media non deve presentare uno scarto in difetto superiore al 10%, rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico, in alcun punto del maggiore tra gli intervalli $0,15s \div 2,0s$ e $0,15s \div 2T$, in cui T è il periodo proprio di vibrazione della struttura in campo elastico, per le verifiche agli stati limite ultimi, e $0,15s \div 1,5T$, per le verifiche agli stati limite di esercizio. Nel caso di costruzioni con isolamento sismico, il limite superiore dell'intervallo di coerenza è assunto pari a $1,2 T_{is}$, essendo T_{is} il periodo equivalente della struttura isolata, valutato per gli spostamenti del sistema d'isolamento prodotti dallo stato limite in esame.

L'uso di storie temporali del moto del terreno artificiali non è ammesso nelle analisi dinamiche di opere e sistemi geotecnici.

L'uso di storie temporali del moto del terreno generate mediante simulazione del meccanismo di sorgente e della propagazione è ammesso a condizione che siano adeguatamente giustificate le ipotesi relative alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente e del mezzo di propagazione e che, negli intervalli di periodo sopraindicati, l'ordinata spettrale media non presenti uno scarto in difetto superiore al 20% rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico.

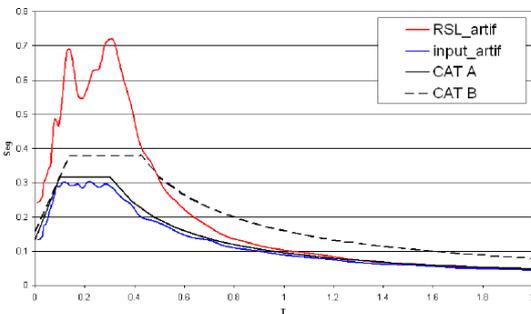
L'uso di storie temporali del moto del terreno naturali o registrate è ammesso a condizione che la loro scelta sia rappresentativa della sismicità del sito e sia adeguatamente giustificata in base alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente, alle condizioni del sito di registrazione, alla magnitudo, alla distanza dalla sorgente e alla massima accelerazione orizzontale attesa al sito.

C – Definizione dell'input sismico (ricerca ed estrazione accelerogrammi)

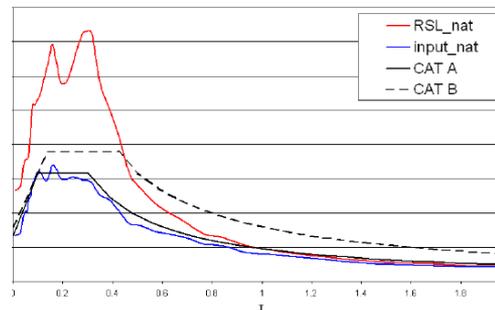
CONFRONTO TRA ACCELEROGRAMMI NATURALI E ARTIFICIALI

Il grafico di sinistra riporta il risultato in termini di spettro di risposta elastico ($\xi=5\%$) utilizzando un input artificiale compatibile con lo spettro di categoria A per il sito in esame. Lo spettro di destra è analogo a quello precedentemente descritto ad esclusione dell'input che in questo caso è costituito da 7 accelerogrammi naturali (di cui il risultato è la media dei 7 accelerogrammi amplificati dal sito).

Input artificiali

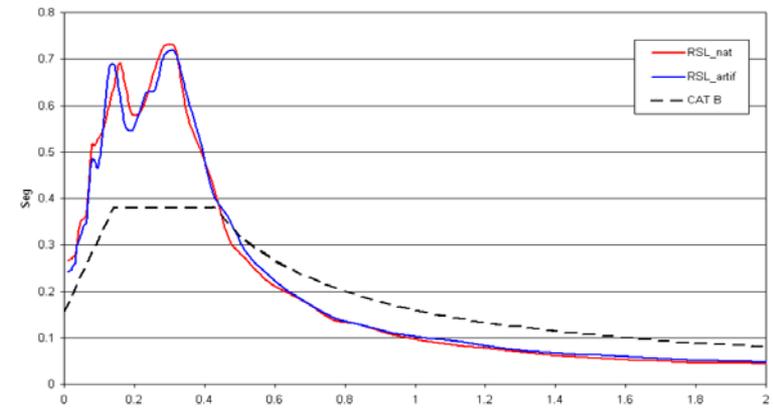


Input naturali



Il confronto tra i due approcci mostra in figura risultati totalmente analoghi, con differenze minime trascurabili.

Confronto tra Input naturali e sintetici



C – Definizione dell'input sismico (ricerca ed estrazione accelerogrammi)

Relativamente all'utilizzo di accelerogrammi naturali, le NTC2018 riportano in sintesi le seguenti prescrizioni:

- l'uso di accelerogrammi (**o meglio storie temporali**) registrati è ammesso, a condizione che la loro scelta sia **rappresentativa della sismicità del sito** e adeguatamente giustificata in base alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente, alle condizioni del sito di registrazione, alla magnitudo, alla distanza dalla sorgente e alla accelerazione orizzontale attesa al sito;
- Le storie temporali del moto del terreno registrate devono essere selezionate e scalate in modo tale che i relativi spettri di risposta approssimino gli spettri di risposta elastici nel campo dei periodi propri di vibrazione di interesse per il problema in esame;
- utilizzare le condizioni di compatibilità spettrale media definite per i segnali artificiali anche per quelli naturali, avendo cura in ogni caso di rispettare le condizioni geologiche di sito e di scegliere accelerogrammi il cui spettro è, per quanto possibile, generalmente simile a quello di riferimento;
- gli accelerogrammi possono essere scalati linearmente in ampiezza **limitando il fattore di scala** nel caso di segnali provenienti da eventi di piccola magnitudo;
- gli effetti sulla struttura sono rappresentati dai **valori medi** degli effetti più sfavorevoli ottenuti dalle analisi, **se si utilizzano almeno 7 diversi gruppi di accelerogrammi**, dai valori più sfavorevoli degli effetti, in caso contrario;
- in nessun caso si possono adottare **meno di tre gruppi di accelerogrammi**.

La prima informazione che è necessario acquisire per la definizione dell'input sismico (definizione della pericolosità sismica di base) è l'accelerazione di base del sito ove è previsto il progetto: **ag**.

E' necessario acquisire alcune informazioni relative al Progetto, normalmente fornite dal Progettista in quanto derivanti dalla "strategia progettuale":

- 1) Coordinate del sito (queste ce le possiamo trovare da noi !!)
- 2) Vita di riferimento dell'opera $V_R = V_N * C_u$ (come da NTC2018)
- 3) Stato limite o stati limite per cui condurre la verifica. Gli stati limite sono SLO e SLD (Stati limite di esercizio) e SLV e SLC (Stati limite ultimi). Ad ogni stato limite corrispondono diversi valori di **ag** poiché questi sono funzione dei diversi periodi di ritorno. Infatti per lo SLO si pone $P_{VR} = 81\%$, per lo SLD $P_{VR}=63\%$, per lo SLV $P_{VR}=10\%$ e per lo SLC $P_{VR}=5\%$.

QUESTE OPERAZIONI POSSONO ESSERE ESEGUITE UTILIZZANDO IL FOGLIO DI CALCOLO MESSO A PUNTO E RESO DISPONIBILE DAL C.S.LL.PP. DENOMINATO "*SPETTRI*". Si tenga conto che le coordinate devono essere espresse in gradi sessadecimali, riferite al meridiano di Greenwich e nel sistema ED50.

INTRO

D.M. 14 gennaio 2008 - Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni

Spettri di risposta

ver. 1.0.3

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

12,45690

LATITUDINE

41,90210

Ricerca per comune

REGIONE

Lazio

PROVINCIA

Roma

COMUNE

Roma

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info ←

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info ←

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

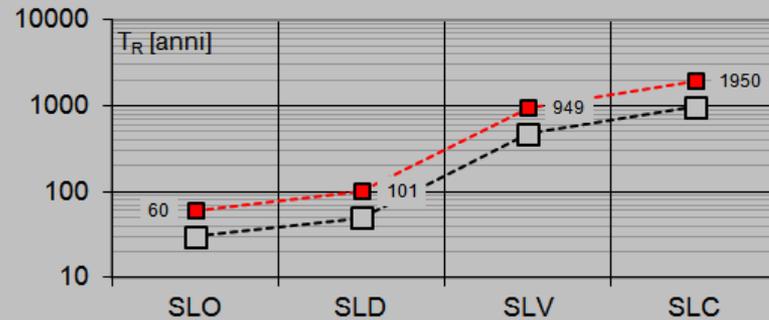
Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE	{	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="60"/>
		SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="101"/>
Stati limite ultimi - SLU	{	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="949"/>
		SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="1950"/>

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

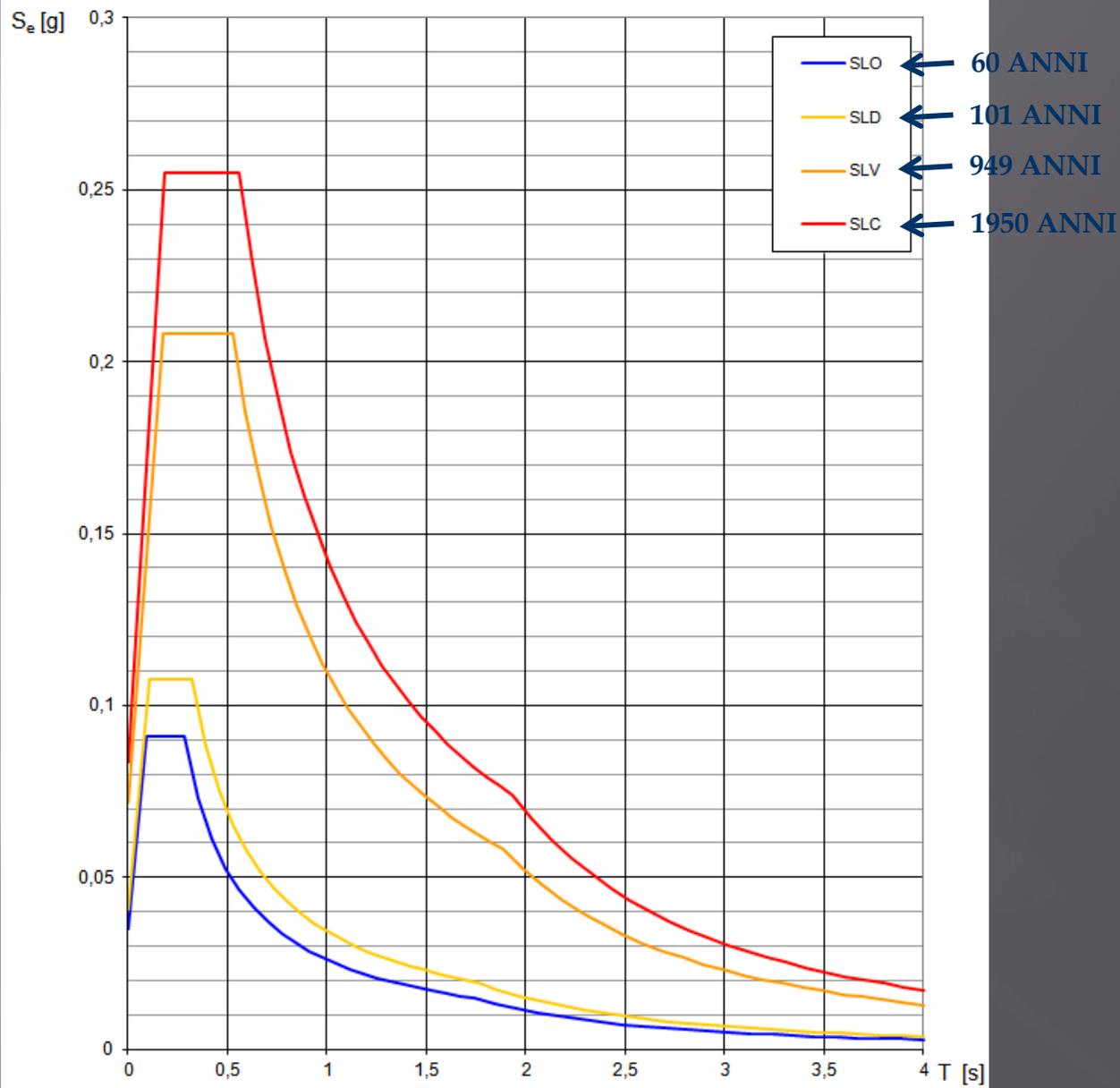
INTRO

FASE 1

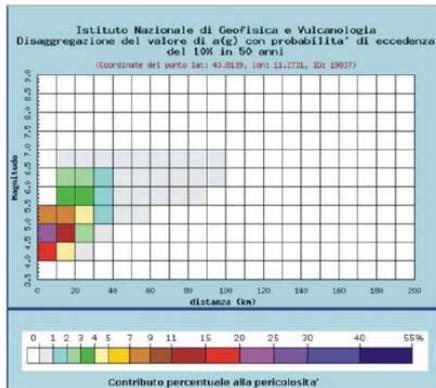
FASE 2

FASE 3

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

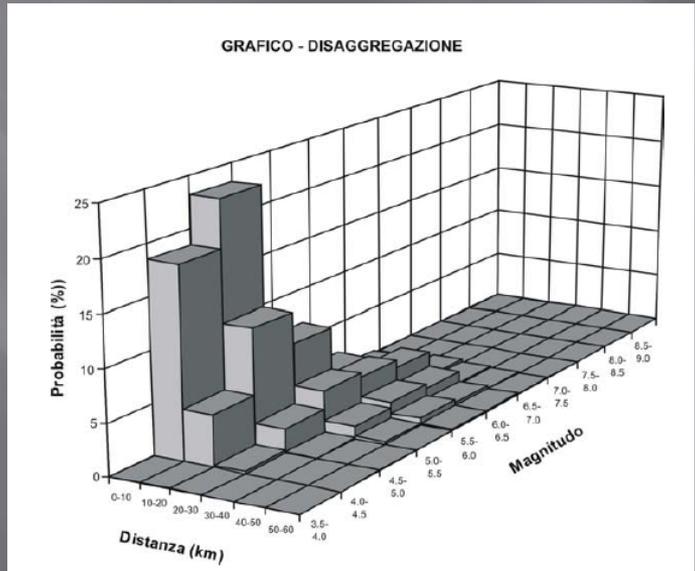


L'estrazione degli accelerogrammi di input prevede la determinazione di altri parametri sismologici, oltre il valore di a_g . In particolare, bisognerà conoscere per il sito in esame i dati di **disaggregazione** (variabilità in termini di magnitudo e distanza), desumibili ad esempio dalla pagina del sito dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia di Milano <http://esse1-gis.mi.ingv.it> dedicata ai dati di pericolosità sismica nazionale.



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a_g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat.: 43.0219, lon.: 11.2721, ID: 19527)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	18.500	23.200	7.190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	4.790	11.400	8.280	3.640	2.190	0.288	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.191	2.230	4.170	3.760	2.970	0.459	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.054	1.170	1.790	1.400	0.251	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.188	0.671	0.394	0.082	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.005	0.169	0.147	0.036	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.061	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.029	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.011	0.002	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi
Magnitudo Distanza Epilocalità
4.990 12.900 1.100



Strumenti
Ritorna alla mappa iniziale
Ridisegna mappa
Zoom In
Zoom Out
Ricentra sul punto
Grafico sul punto griglia
Grafico di disaggregazione **step3**

Navigazione
Scala: (Valori consentiti 50.000 - 7.909.000)
Scala: 195000
Coordinate del centro della mappa
Latitudine: 43.765
Longitudine: 11.245
Cambia scalacentro

Ricerca Comune
Il nome contiene: Firenze
Ricerca **step1**

Seleziona mappa **step2**
Visualizza punti della griglia
Parametro dello scuotimento: a_g
Probabilità in 50 anni: 10%
Percentile: 50
Periodo spettrale (sec): 3.50

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

REXEL (ReLUIS di Napoli)

Banche dati: ITACA e ESD

REXEL v 3.2 (beta)

File Database Output About References



REXEL v 3.2 (beta)

Computer aided code-based real record selection for seismic analysis of structures
 (c) Iunio Iervolino, Carmine Galasso and Eugenio Chioccarelli, 2008-2011
 Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Università degli Studi di Napoli Federico II, Naples, Italy.

1. Target Spectrum

Italian Building Code 2008

Longitude [°] 14.191

Latitude [°] 40.829

Map

Site class A

Topographic category T1

Nominal life 50 yea...

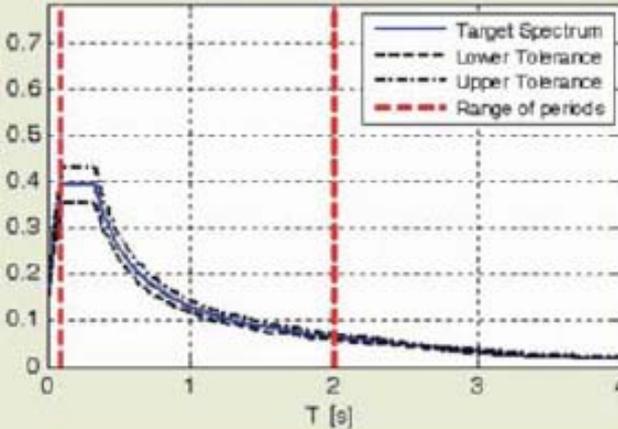
Functional type II

Limit state SLV (...)

horizontal vertical

Disaggregation for (Italian sites only) Sa(T = ...)

Acceleration elastic response spectrum



Target Spectrum
Lower Tolerance
Upper Tolerance
Range of periods

T [s]

3. Spectrum matching

Lower tolerance [%] 10

Upper tolerance [%] 10

T1 [s] 0.10

T2 [s] 2

Plot spectral bounds

2. Preliminary database search

Based on M and R

M minimum 4 M maximum 7 records: 2x 207

R minimum [km] 0 R maximum [km] 30 events: 115

Database European Strong-motion Data...

Site class Same as target spectrum

Check database Preliminary plot

4. Analysis options

Scaled records (FOA-normalized records' search)

I'm feeling lucky (Returns only the first combination found)

Set size

Individual record

7 records

30 records

1 component

2 components

3 components

NEW SEARCH EXIT

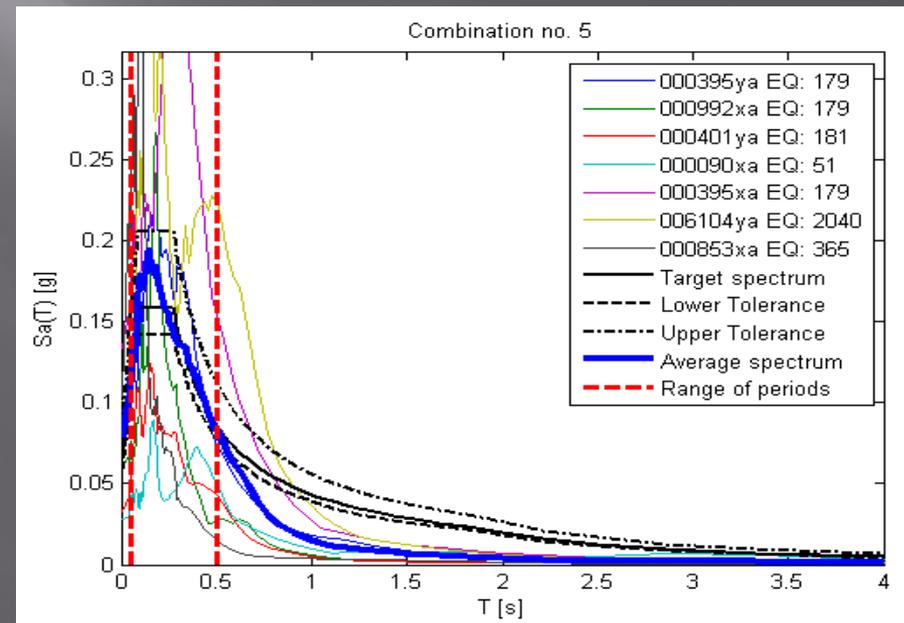
SE SIETE FORTUNATI

Si estraggono 5 combinazioni composte da 7 accelerogrammi ciascuna. Tra queste si sceglie la combinazione con il valore più basso di standard deviation e con i meccanismi focali più simili alla sorgente sismica che si ipotizza per il progetto in studio.

PGA - Input [m
Lower limit [%]: 10
Upper limit [%]: 30
Tolerance [%]: 0
Non-dimensional :

ncomb	Recdev_med	Recdev_1	Recdev_2	Recdev_3	Recdev_4	Recdev_5	Recdev_6	Recdev_7
1	0.136	0.217	0.392	0.400	0.439	0.819	0.842	0.877
2	0.136	0.217	0.392	0.418	0.439	0.819	0.842	0.877
3	0.111	0.217	0.392	0.439	0.557	0.819	0.842	0.877
4	0.101	0.217	0.392	0.439	0.568	0.819	0.842	0.877
5	0.094	0.217	0.392	0.439	0.653	0.819	0.842	0.877
-1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Dopo un adeguato trattamento del formato dei dati ed avendo avuto cura di trasformare i dati da m/s^2 in g_{nat} , abbiamo a disposizione il materiale da dare in pasto al software di simulazione dello scuotimento.



- Home
- About
- Waveforms
- Events
- Stations
- WEBServices
- Products
- Tools
- Documents
- News

Target spectrum Preliminary search Spectrum matching Refine search

Target
NTC18 - Italian Building code (D.M. 2018)

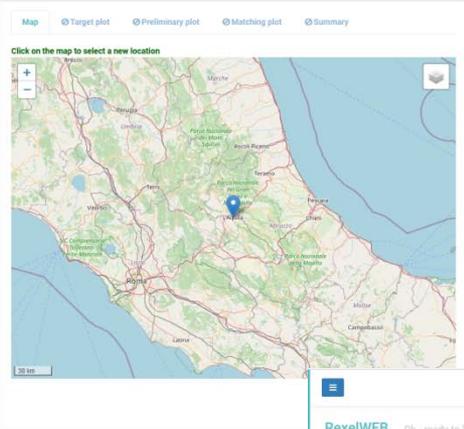
Spectrum type Latitude [°] Longitude [°] ag [d]
Type 1 - Higher level of seismic 42.341999 13.40332 0.16

Soil Type Topography
A T1 - flat surfaces, isolated cliffs

Nominal life Functional type Limit state
30 years - ordinary structures IV SLO (81%)

Probability of exceedance Aggregation level
50% in 50 years (73 years) mean

New search Next



REXEL web

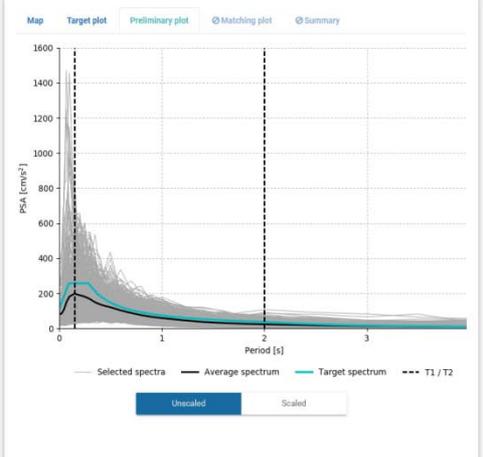
Target spectrum Preliminary search Spectrum matching Refine search

Lower tolerance [%] Upper tolerance [%] T1 [s] T2 [s]
10 30 0.150000 2.000000

Additional tolerance [%] Set size Number of combinations
0 7 1

Dimensional flag Check on PGA Maximum average scale-factor
5

Next



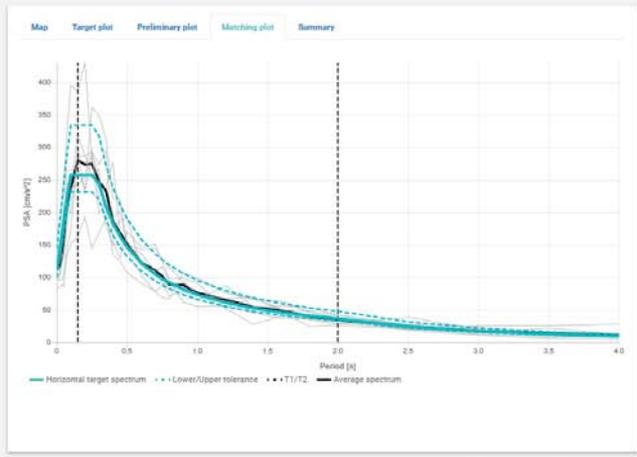
Target spectrum Preliminary search Spectrum matching Refine search

Stations Exclude from results

Events Exclude from results

Waveforms Exclude from results

New search

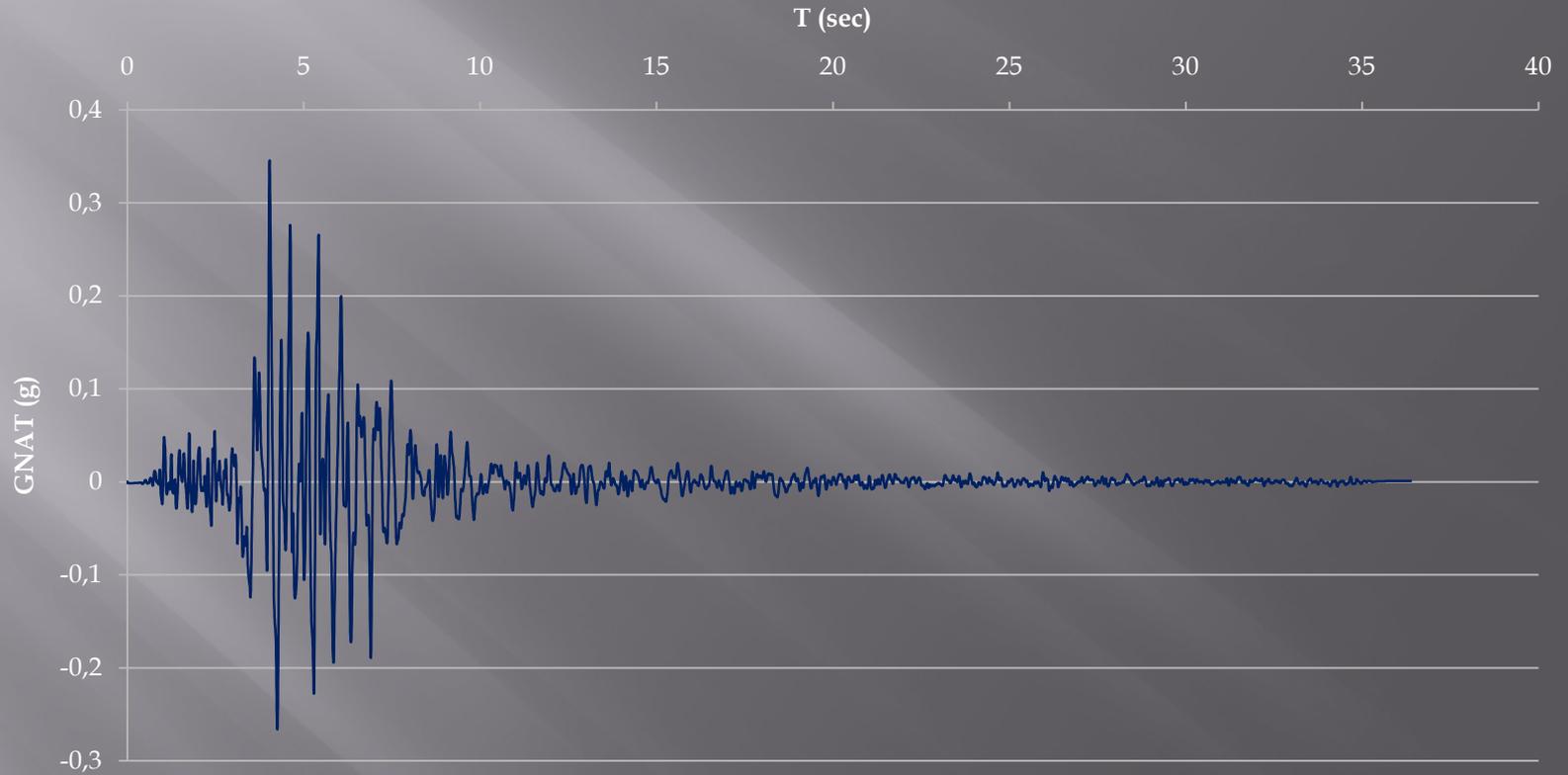


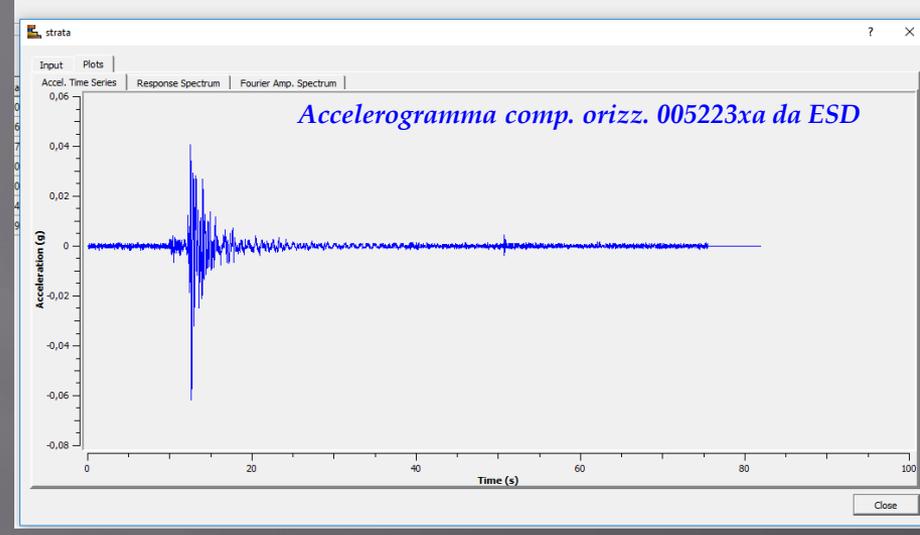
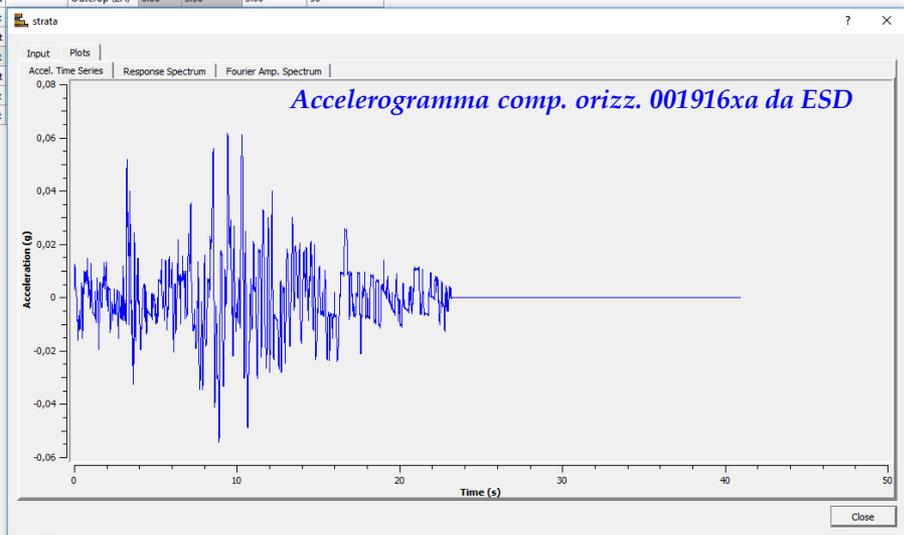
Selected waveforms: 7
Current combination: 1 (Score: 0.256)

Download lists Download pdfs

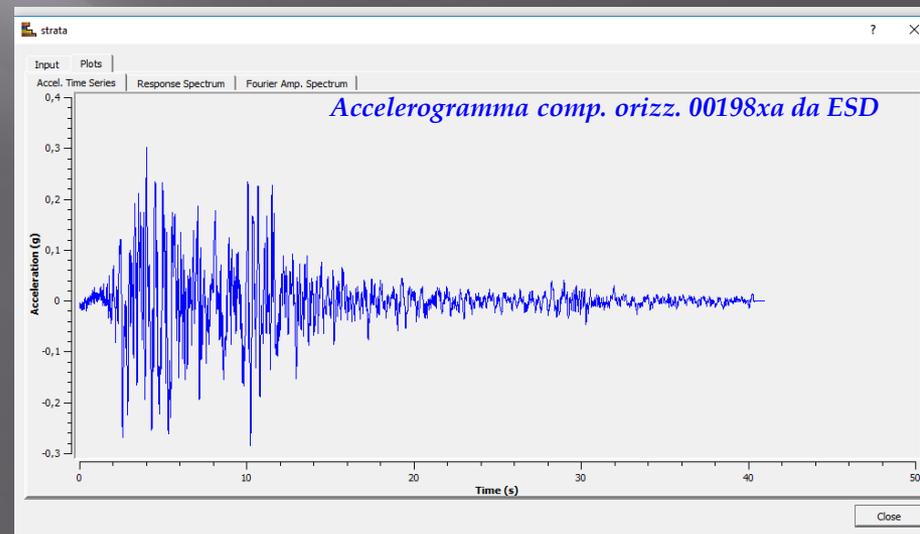
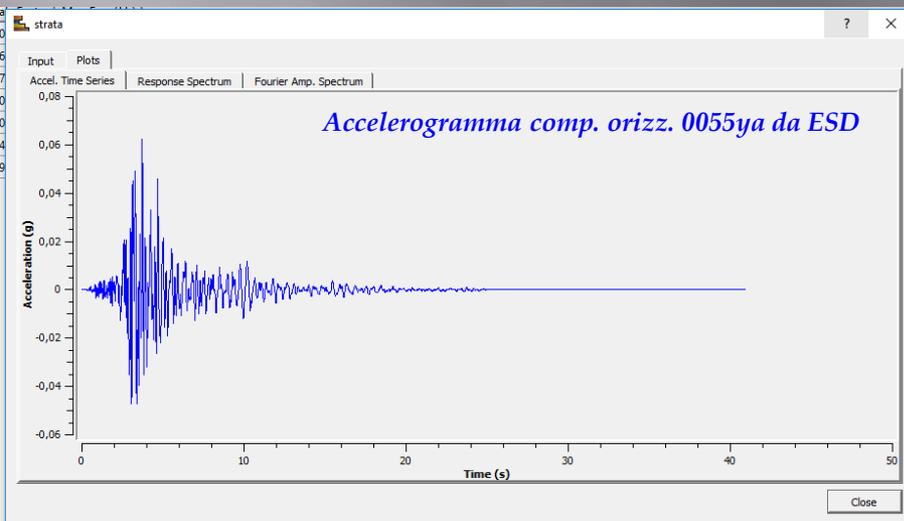
Combination #	Waveform ID #	ESM ID #	Network #	Station code #	Sensor ID #	Instrument code #	Orientation #	ML	MW	Year #	Style of faulting #	Epifocal distance [km]	ESR code #	VELD [m/s]	Score #	Scale Factor #
1	IV T1241_HR6EMSC 20141206_000029	EMSC 20141206_000029	IV	T1241		HR6	E	5.5	6.8		Normal faulting	23.3	B	0.0282	0.1000	
1	TV CA505_HMLT 2012-0011	(72012-0011)	TV	CA505		HRN	E	6.0	6.0		Thrust faulting	27.6	C	0.0207	0.1000	
1	IT CRP02_HMLT 2012-0011	(72012-0011)	IT	CRP	00	HRN	N	6.0	6.0		Thrust faulting	18.8	C	0.0280	0.1000	
1	IT P02B_02_H43_EUR02 20141030_000038	EMSC 20141030_000038	IT	P02B	00	H43	E	5.5	6.6		Normal faulting	35.7	B	0.0208	0.1000	
1	GR 120302_HR6 2004-0050	(02004-0050)	GR	1203	00	HR6	E	6.5	6.5		HR	20.9	B	0.0231	2.1000	
1	ML AT141_02_HR6_08 1999-0001	OR-1999-0001	ML	AT141	00	HR6	E	5.8	5.9		Normal faulting	21.9	B	0.0162	0.1000	
1	IV T1201_HR6EMSC 20141026_000045	EMSC 20141026_000045	IV	T1201		HR6	E	5.6	5.9		Normal faulting	20.3	B	0.0166	0.1000	

Accelerogramma comp. orizz. IT0014xa da ITACA





Importanza morfologia accelerogrammi



La procedura per gli studi di RSL

Lo studio di RSL passa attraverso 5 steps fondamentali

**A - Implementazione del modello geologico
(indagini geologiche e geognostiche)**

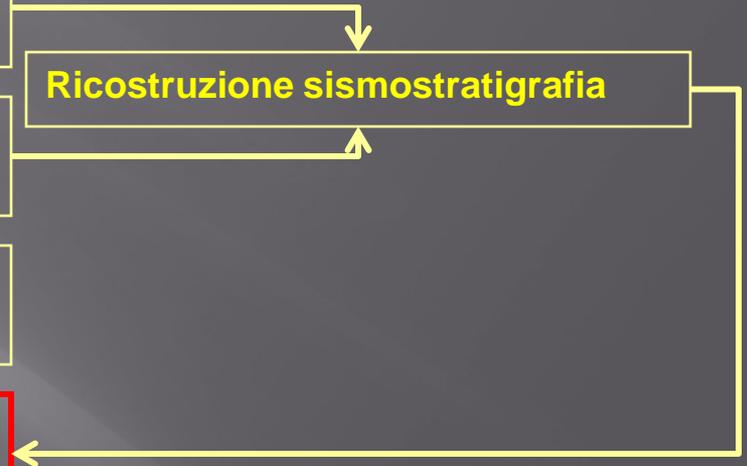
**B - Implementazione del modello geofisico
(indagini geofisiche)**

C - Definizione dell'input sismico (ricerca ed estrazione accelerogrammi)

D - Simulazione numerica con software specialistico

E - Confronto degli spettri di RSL con gli spettri di norma da NTC'08 ed indicazioni per lo strutturista

Ricostruzione sismostratigrafia



D – Simulazione numerica con software specialistico

Definito l'input in termini di eventi sismici da sottoporre alla simulazione, si devono determinare le caratteristiche sismostratigrafiche del volume di terreno indagato ed oggetto della possibile amplificazione.

Qualsiasi software di simulazione si scelga di utilizzare, sarà sempre necessario procedere all'inserimento (con modalità e formati differenti tra software e software) della colonna sismostratigrafica, ricostruita attraverso le campagne di indagini condotte come descritto in precedenza.

Va sempre verificata la condizione di stratificazione piano-parallela, almeno in un intorno significativo del sito di progetto, al fine di considerare applicabile una analisi monodimensionale.

D – Simulazione numerica con software specialistico

<i>Unità</i>	<i>Profondità</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Peso di volume</i>	<i>V_s</i>
<i>Primo livello</i>	0 ÷ 3 m dal p.c.	Depositi fluvio-lacustri	17 kN/m ³	303 m/s
<i>Secondo livello</i>	3 ÷ 10 m dal p.c.	Sabbie continentali molto addensate	21 kN/m ³	694 m/s
<i>Terzo livello</i>	10 ÷ 16 m dal p.c.	Sabbie litorali in falda da poco a mediamente addensate	19 kN/m ³	404 m/s
<i>Quarto livello a)</i>	16 ÷ 21 m dal p.c.	Depositi limoso-argillosi	19,5 kN/m ³	370 m/s
<i>Quarto livello b)</i>	21 ÷ 23 m dal p.c.	Depositi limoso-sabbiosi	18,5 kN/m ³	402 m/s
<i>Quarto livello c)</i>	23 ÷ 29 m dal p.c.	Depositi limoso-argillosi	19,5 kN/m ³	458 m/s
<i>Quinto livello</i>	29 ÷ 35 m dal p.c.	Sabbie marine	20 kN/m ³	400 m/s
<i>Sesto livello</i>	35 ÷ 45 m dal p.c.	Limi argillosi pleistocenici	21 kN/m ³	450 m/s
<i>Settimo livello</i>	45 ÷ 75 m dal p.c.	Argille grigie calabriane	21,5 kN/m ³	500 m/s
<i>BEDROCK SISMICO</i>	> 75 metri dal p.c.	Argille grigio-azzurre mioplioceniche	23 kN/m ³	800 m/s

Tabella 5: sintesi della sismostratigrafia adottata.

D – Simulazione numerica con software specialistico

Unità	Profondità	Descrizione	Peso di volume	Vs
Primo livello	0 ÷ 3 m dal p.c.	Sabbia sciolta	16 kN/m ³	185 m/s
Secondo livello	3 ÷ 8 m dal p.c.	Sabbia mediamente addensata	17,5 kN/m ³	378 m/s
Terzo livello	8 ÷ 11 m dal p.c.	Piroclastite addensata	18,5 kN/m ³	521 m/s
Quarto livello	11 ÷ 18 m dal p.c.	Piroclastite litoide	19,5 kN/m ³	898 m/s
Quinto livello	18 ÷ 40 m dal p.c.	Piroclastite addensata	18,5 kN/m ³	500 m/s
Sesto livello	40 ÷ 70 m dal p.c.	Argille plioceniche	21 kN/m ³	650 m/s
BEDROCK SISMICO	70 metri dal p. c.	Argille plioceniche	21 kN/m ³	800 m/s

Tabella 5: sintesi della sismostratigrafia adottata.

D – Simulazione numerica con software specialistico

ESISTONO MOLTI SOFTWARE CHE SIMULANO LO SCUOTIMENTO SISMICO PER ANALISI MONODIMENSIONALI. LA MAGGIOR PARTE DI ESSI UTILIZZANO LO STESSO ALGORITMO DI BASE, DIFFERENDO SOLO PER L'INTERFACCIA GRAFICA, LA FACILITA' DI INPUT ED I PRODOTTI DI OUTPUT. L'ANTESIGNANO E' **SHAKE**, CHE RISOLVE LE EQUAZIONI DEL MOTO NEL DOMINIO DELLE FREQUENZE E TIENE CONTO DEL COMPORTAMENTO NON LINEARE DEL TERRENO REALE MEDIANTE UN PROCEDIMENTO LINEARE EQUIVALENTE.

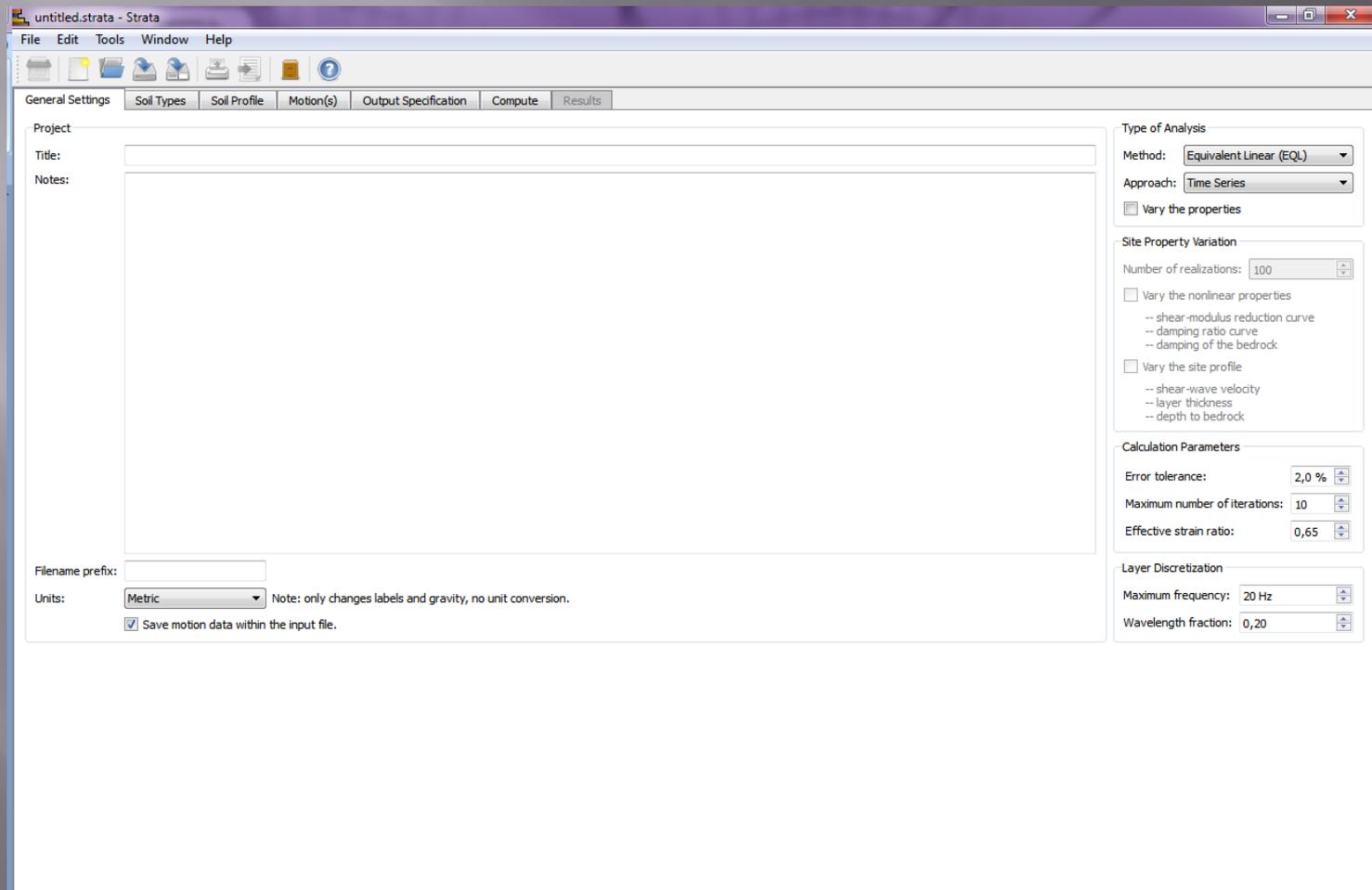
Geometria	Codice di calcolo (riferimento)	Tipo di analisi		Ambiente operativo
1-D	SHAKE (Schnabel et al., 1972) SHAKE91 (Idriss & Sun, 1992)* PROSHAKE (EduPro Civil System, 1999) SHAKE2000 (www.shake2000.com) EERA (Bardet et al., 2000) NERA (Bardet & Tobita, 2001) DEEPSOIL (Hashash e Park, 2001)	TT	LE	DOS
	DESRA_2 (Lee & Finn, 1978) DESRAMOD (Vucetic, 1986) D-MOD_2 (Matasovic, 1995) SUMDES (Li et al., 1992) CYBERQUAKE (www.brgm.fr)		NL	Windows
		QUAD4 (Idriss et al., 1973) QUAD4M (Hudson et al., 1994) FLUSH (Lysmer et al., 1975) BESOIL (Sanò, 1996)	TE	LE
	NL			Windows
2-D / 3-D	QUAKE/W vers. 5.0 (GeoSlope, 2002)	TT	LE	DOS
	DYNAFLOW (Prevost, 2002) GEFDYN (Aubry e Modaressi, 1996) TARA-3 (Finn et al., 1986)			TE
	FLAC vers. 6.0 (Itasca, 2008) PLAXIS vers. 8.0 (www.plaxis.nl)	DOS		
				Windows

TT = Tensioni Totali; TE = Tensioni Efficaci;
LE = Lineare Equivalente; NL = Non Lineare

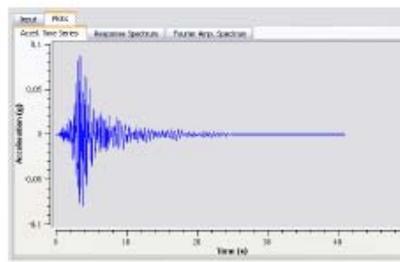
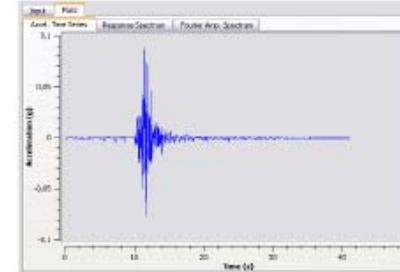
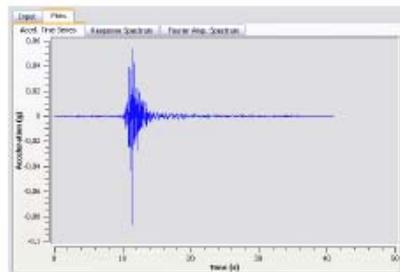
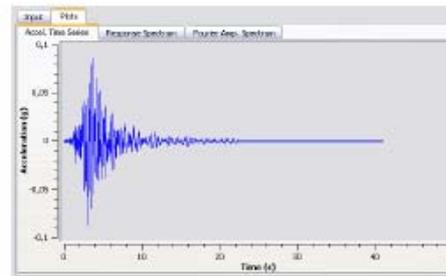
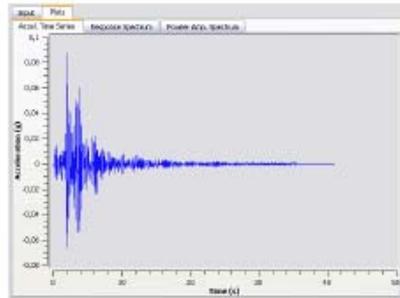
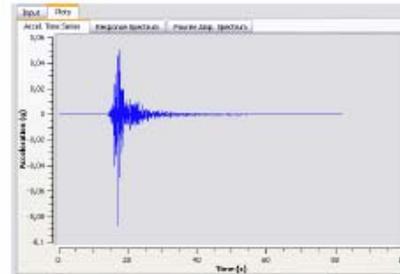
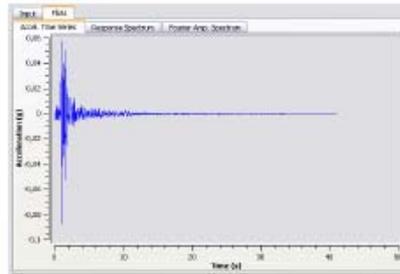
D – Simulazione numerica con software specialistico

Tra i prodotti di più comune utilizzo (e gratuito) si segnala **STRATA** (A.R. Kottke, E.M. Rathje, *University of Texas, 2008*) non riportato nella tabella della precedente slide, che discende dal gruppo di programmi derivanti da SHAKE

Forse, ad oggi, è il miglior compromesso tra completezza - potenza di calcolo - facilità di utilizzo.



D – Simulazione numerica con software specialistico



D – Simulazione numerica con software specialistico

SPETTRO DI ACCELERAZIONE:
DATO FINALE DI RSL

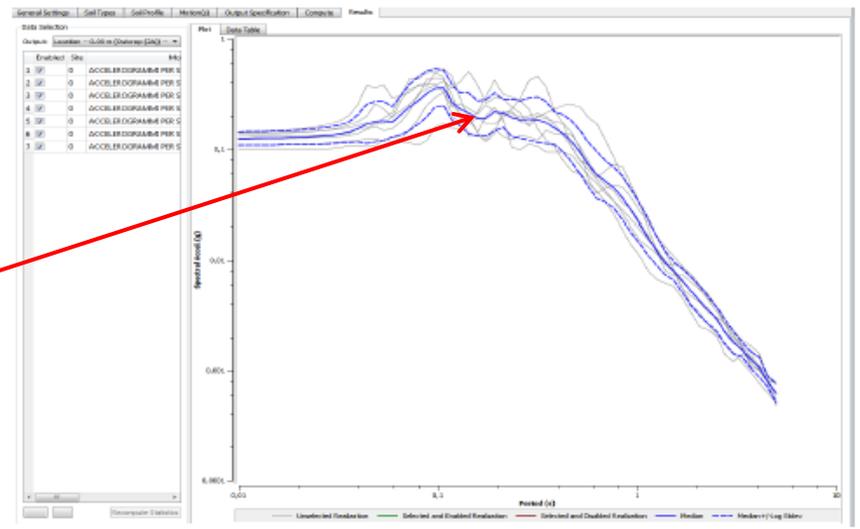


Figura 16: acceleration response spectrum da Strata per SLD

FUNZIONE DI TRASFERIMENTO
DELL'ACCELERAZIONE: VERIFICA
DEL MODELLO ADOTTATO

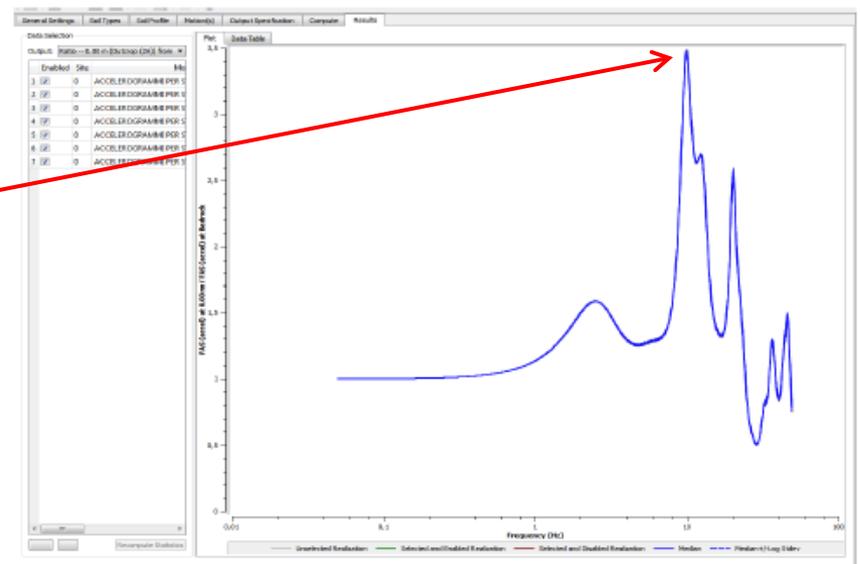


Figura 17: acceleration transfer function da Strata per SLD

La procedura per gli studi di RSL

Lo studio di RSL passa attraverso 5 steps fondamentali

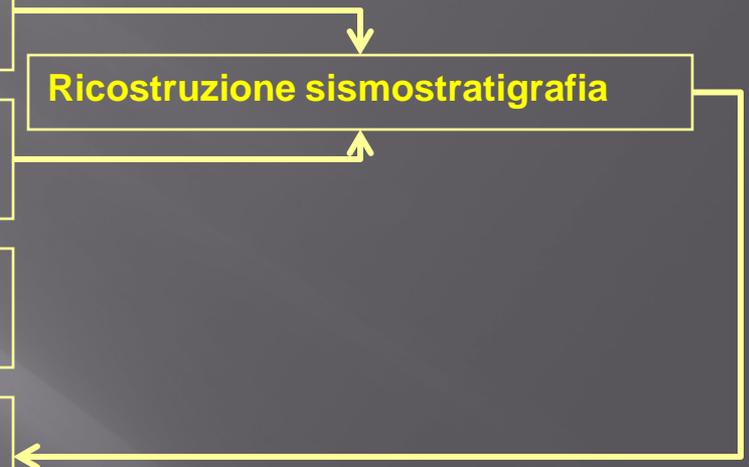
**A - Implementazione del modello geologico
(indagini geologiche e geognostiche)**

**B - Implementazione del modello geofisico
(indagini geofisiche)**

C - Definizione dell'input sismico (ricerca ed estrazione accelerogrammi)

D - Simulazione numerica con software specialistico

E - Confronto degli spettri di RSL con gli spettri di norma da NTC'08 ed indicazioni per lo strutturista



Spettro normalizzato (parametri dipendenti ed indipendenti)

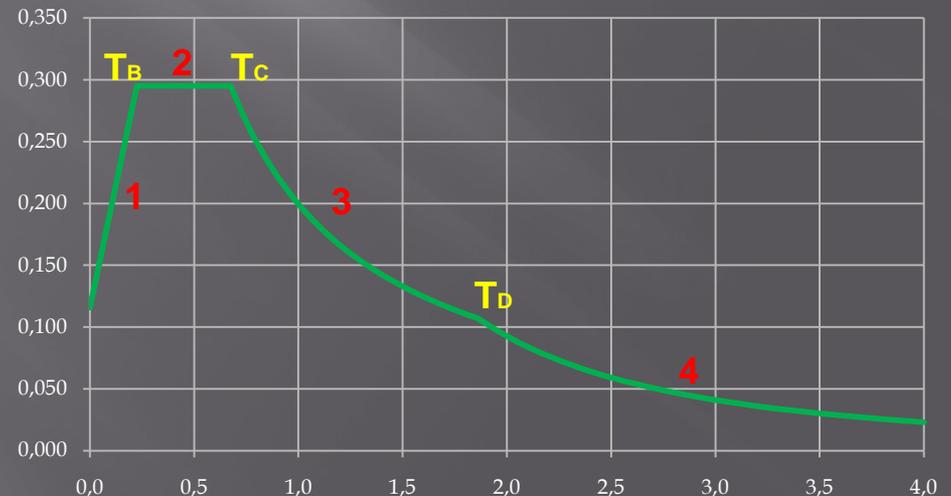
Può essere necessario per lo strutturista avere il dato di output dello spettro elastico normalizzato (caratterizzato da una forma simile a quella dell'approccio semplificato di normativa).

Questi spettri si ricavano riportando i parametri indipendenti (relativi alla localizzazione geografica del sito ed alle scelte progettuali) e calcolando i parametri dipendenti (derivanti dall'amplificazione propria del sito).

ESISTONO TRE DIFFERENTI MODALITA' DI NORMALIZZAZIONE:

- 1) Normalizzazione su spettri "lisciati";
- 2) Normalizzazione "totale";
- 3) Normalizzazione secondo ICMS.

1	$0 \leq T < T_B$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$
2	$T_B \leq T < T_C$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$
3	$T_C \leq T < T_D$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$
4	$T_D \leq T$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$

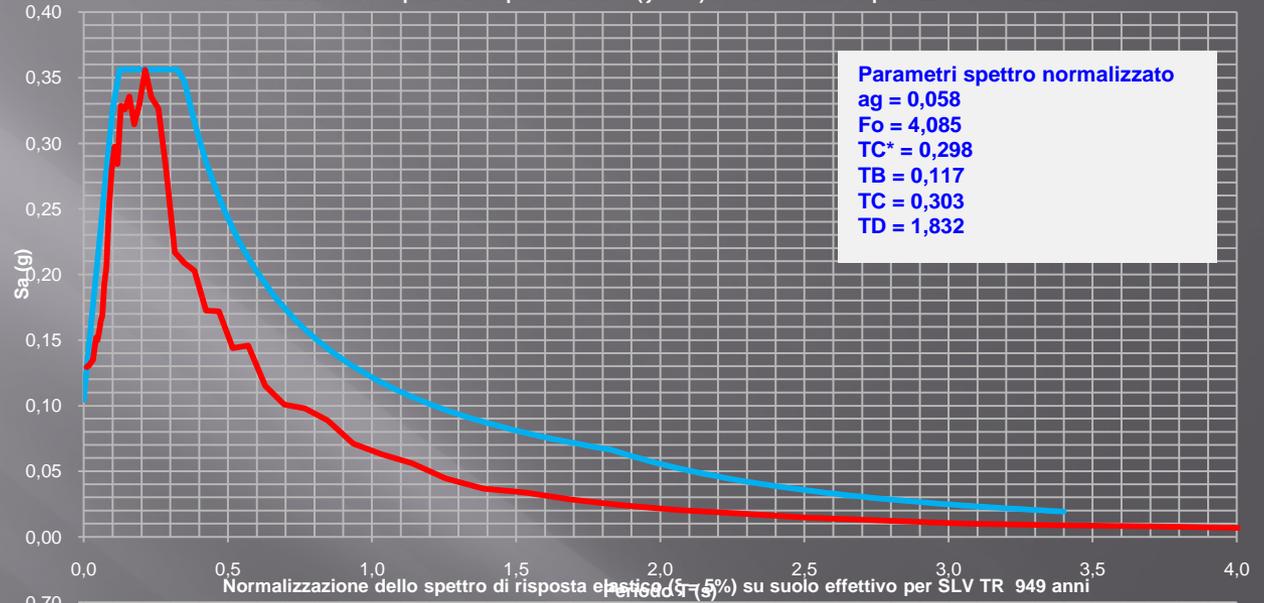


NORMALIZZAZIONE TOTALE DEGLI SPETTRI – INPUT PROGETTUALE

Parametri spettro NTC2018 Suolo C

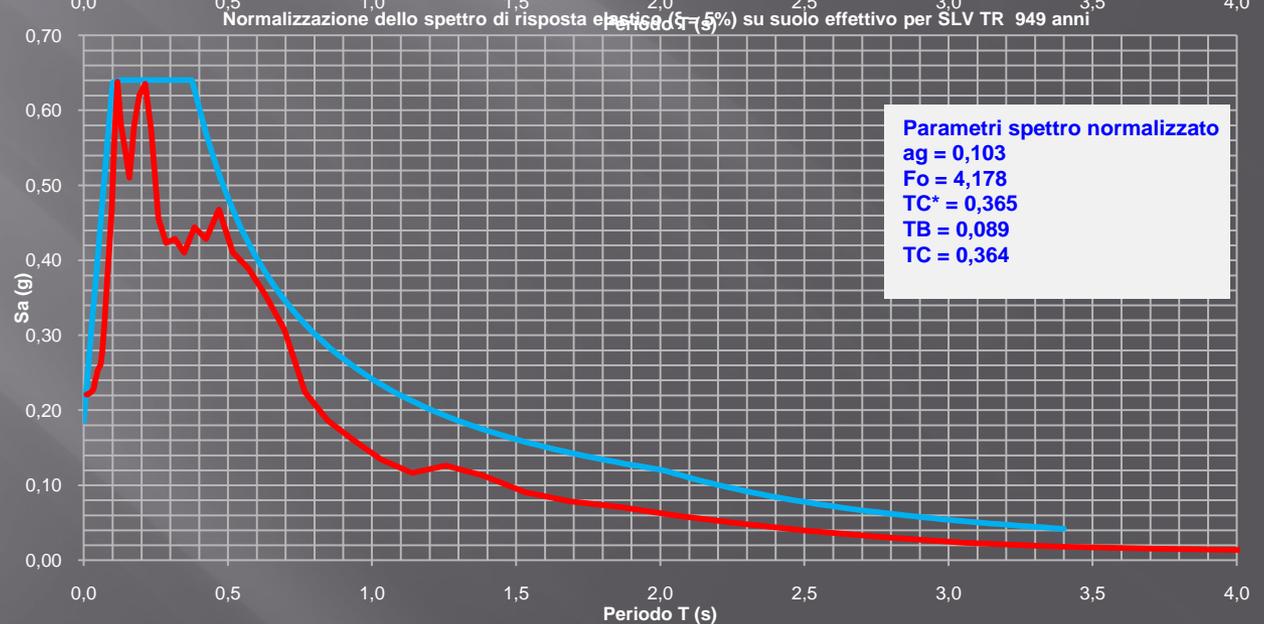
Fo = 2,602
TB = 0,155
TC = 0,466

Normalizzazione dello spettro di risposta elastico ($\xi = 5\%$) su suolo effettivo per SLD TR 101 anni



Parametri spettro NTC2018 Suolo C

Fo = 2,881
TB = 0,178
TC = 0,535

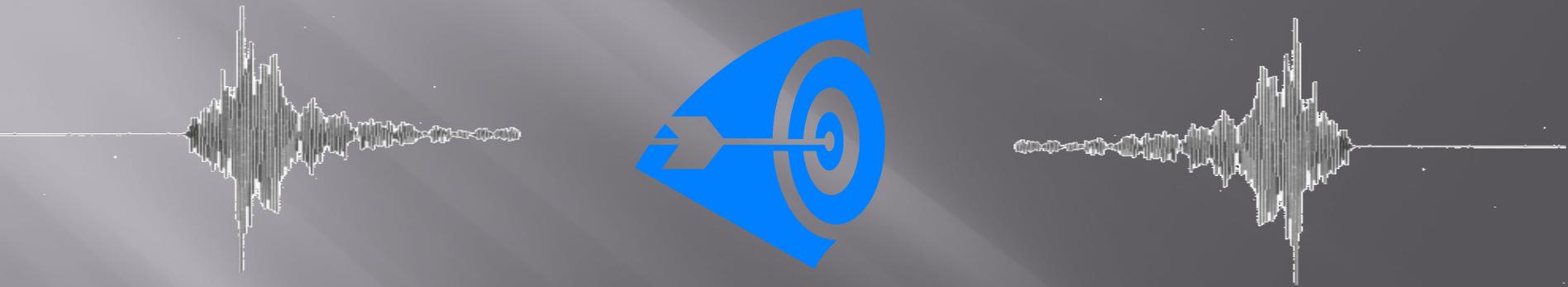


CASI DI STUDIO: 3 ESEMPI DI R.S.L.

- **Tutti gli interventi sono in Classe d'uso IV, poiché all'interno di siti industriali con attività di produzione di sostanze pericolose per l'ambiente (D.Lgs. 105/2015)**
- **Tutti i siti, nell'approccio progettuale semplificato, presenterebbero una Categoria di sottosuolo di Tipo C ai sensi delle NTC 2018**

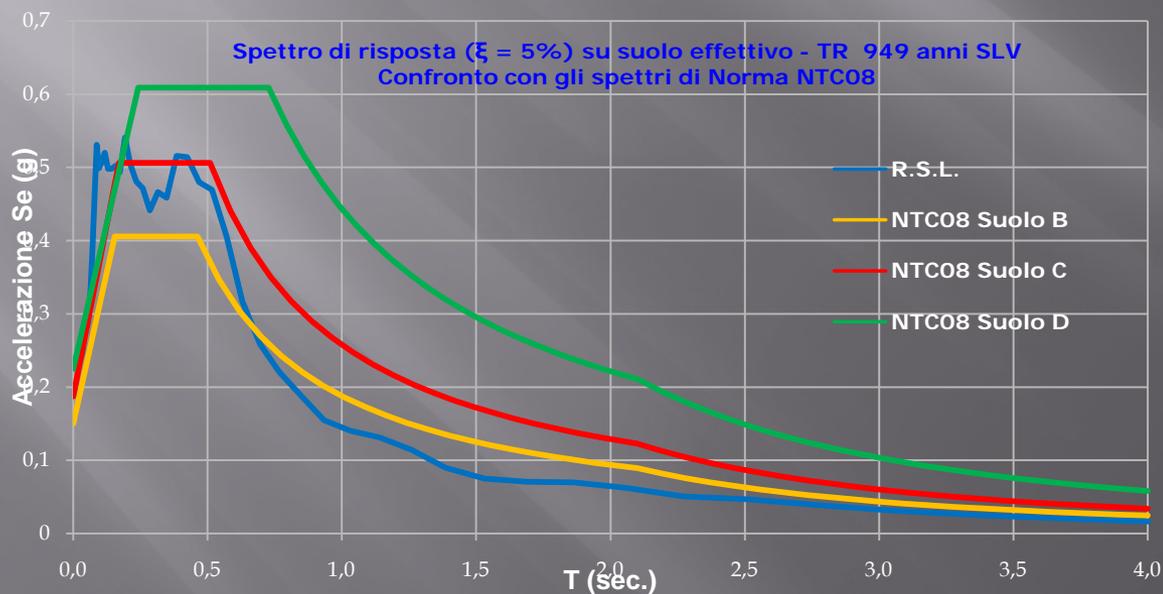
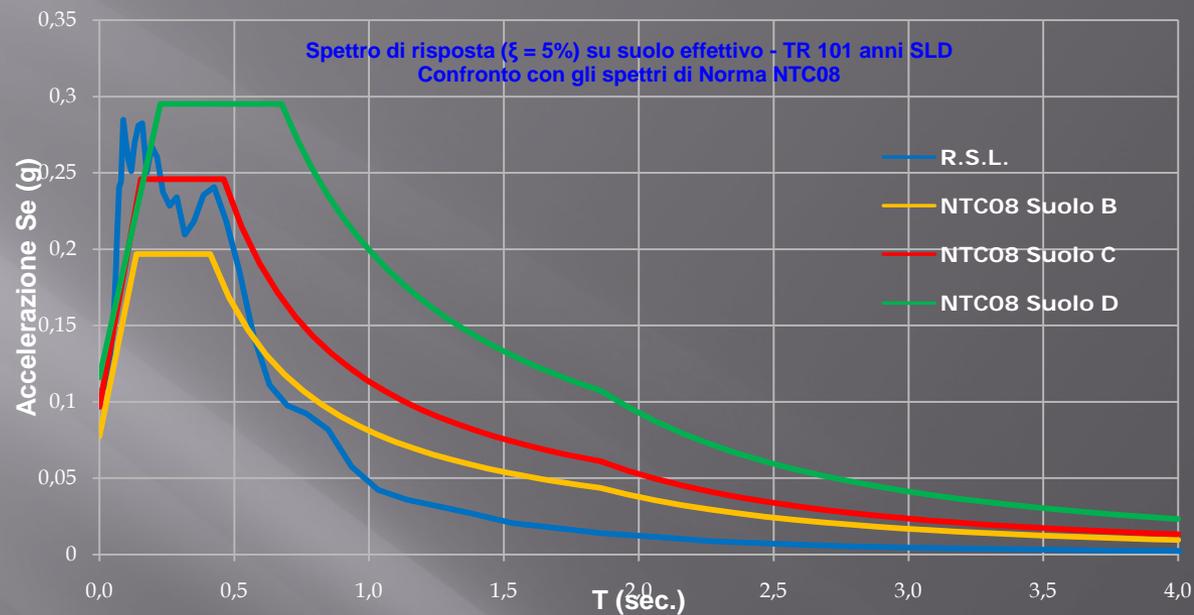


- ➔ Siamo all'interno di una unica Unità geologico-geomorfologica
- ➔ L'assetto geologico-stratigrafico regionale dell'Unità è noto
- ➔ I possibili fattori di amplificazione sismica sono unicamente stratigrafici poiché siamo in pianura
- ➔ E' applicabile un approccio 1D
- ➔ Si applica la D.G.R. 793/2020 (definizione delle strutture strategiche e rilevanti)

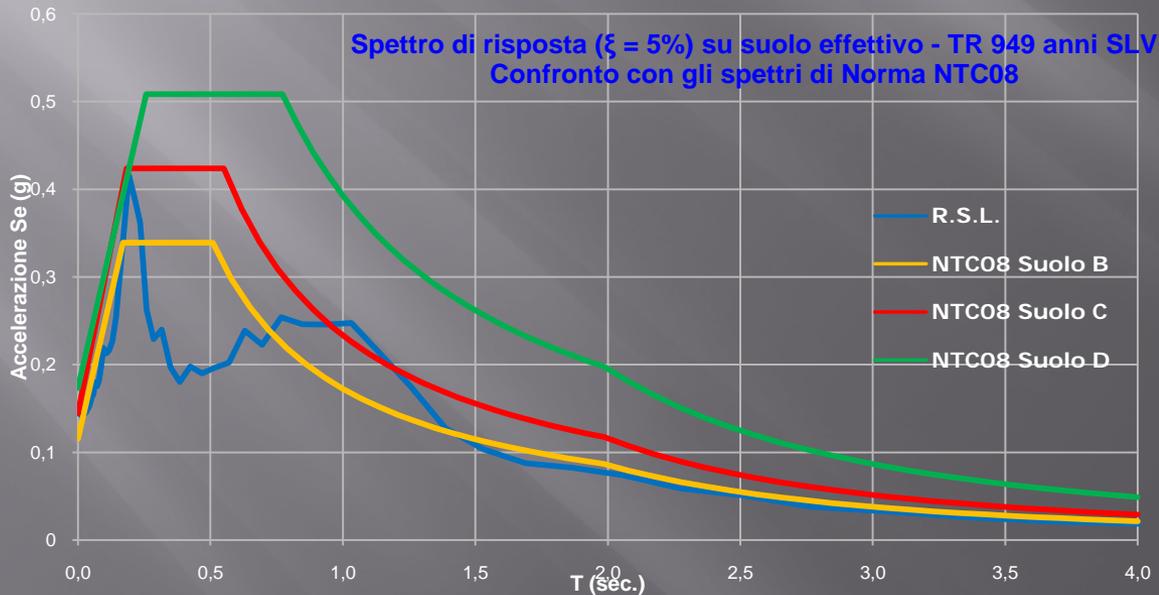
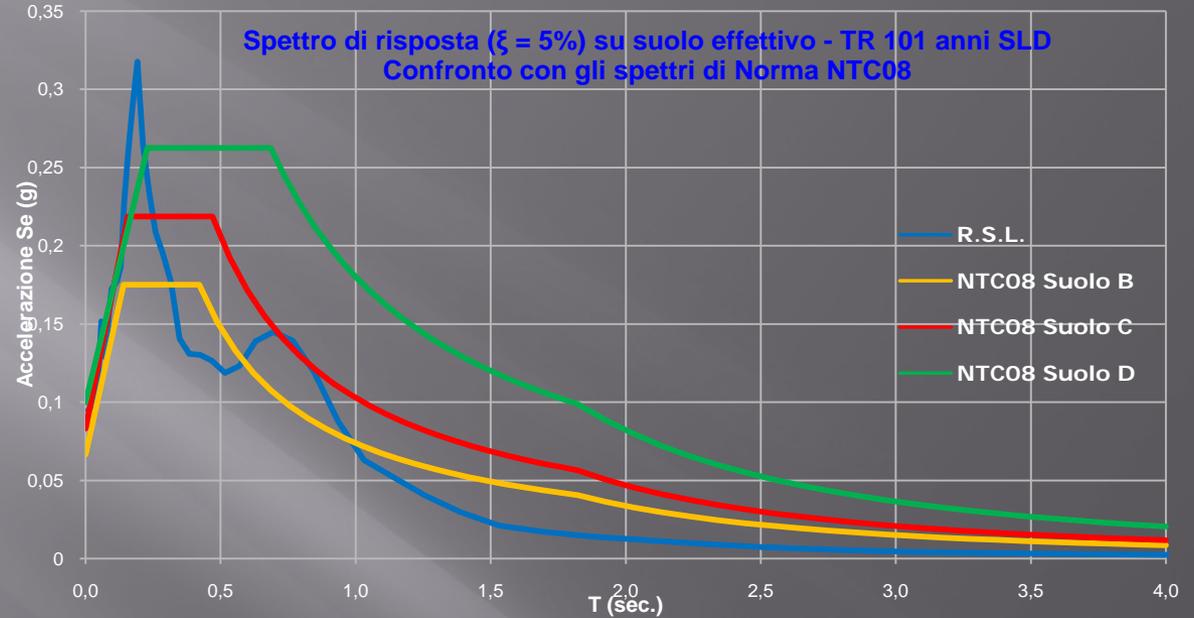


- **PUNTUALE APPLICAZIONE DELLA NORMATIVA TECNICA VIGENTE**
- **CORRETTA E ACCURATA ESECUZIONE DELLE INDAGINI E DEGLI STUDI DI RSL**
- **CONSEQUENTE ED ADEGUATA PROGETTAZIONE**

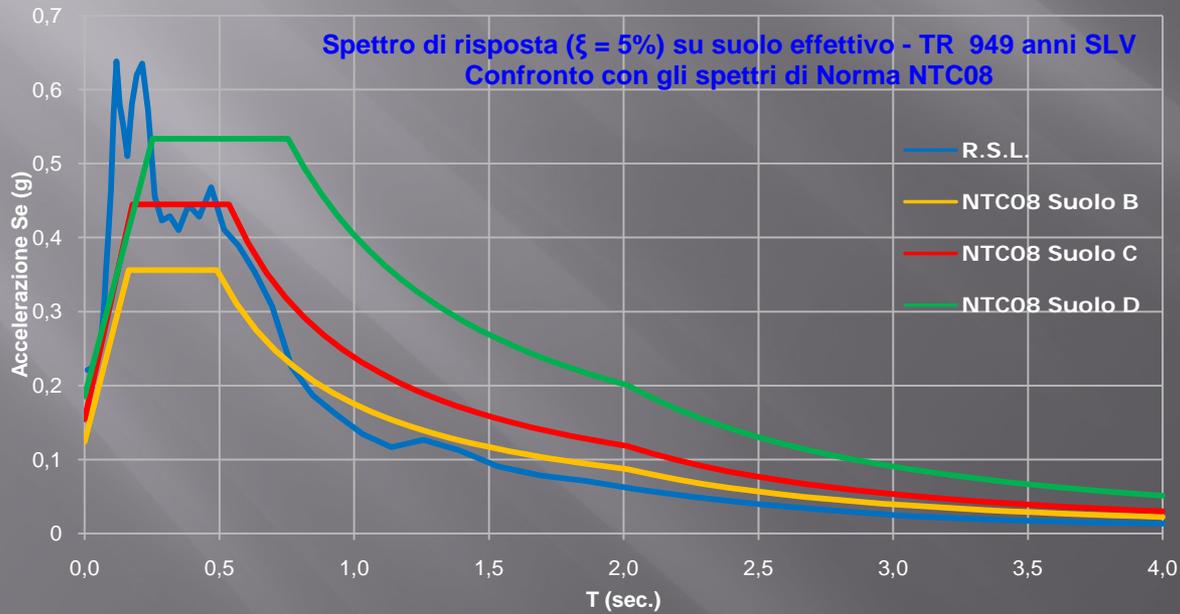
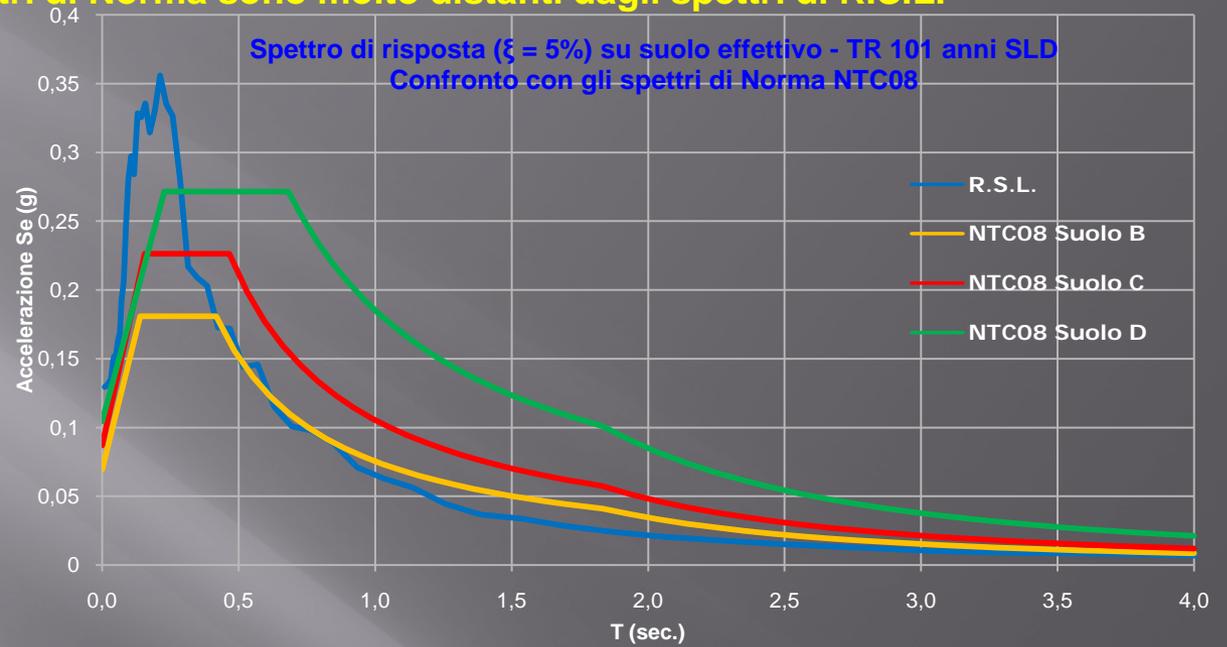
CASO 1: gli spettri di Norma rappresentano abbastanza bene gli spettri di R.S.L.



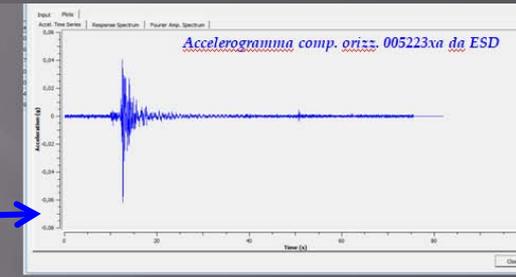
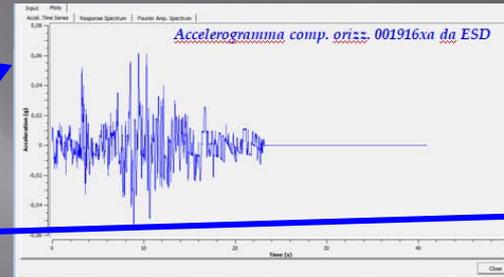
CASO 2: gli spettri di Norma rappresentano abbastanza bene lo spettro di R.S.L. per uno solo degli stati limite analizzati



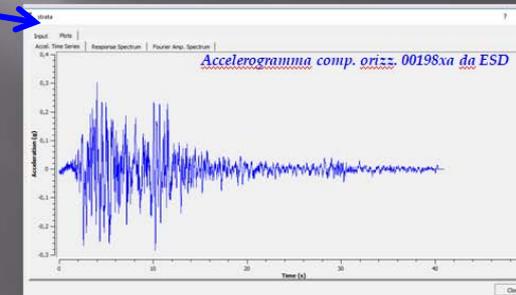
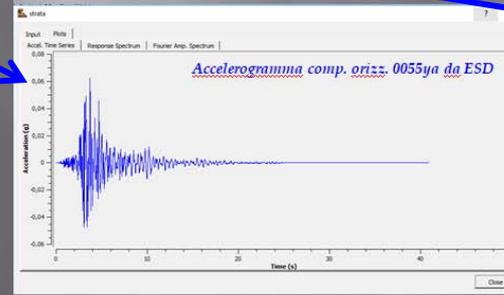
CASO 3: gli spettri di Norma di Norma sono molto distanti dagli spettri di R.S.L.



STIMA DELLA FREQUENZA CARATTERISTICA DEGLI EDIFICI CON FORMULE EMPIRICHE E CONFRONTO CON LO SPETTRO ELASTICO IN ACCELERAZIONE ESEMPIO 1 – BACK ANALYSIS - AMATRICE

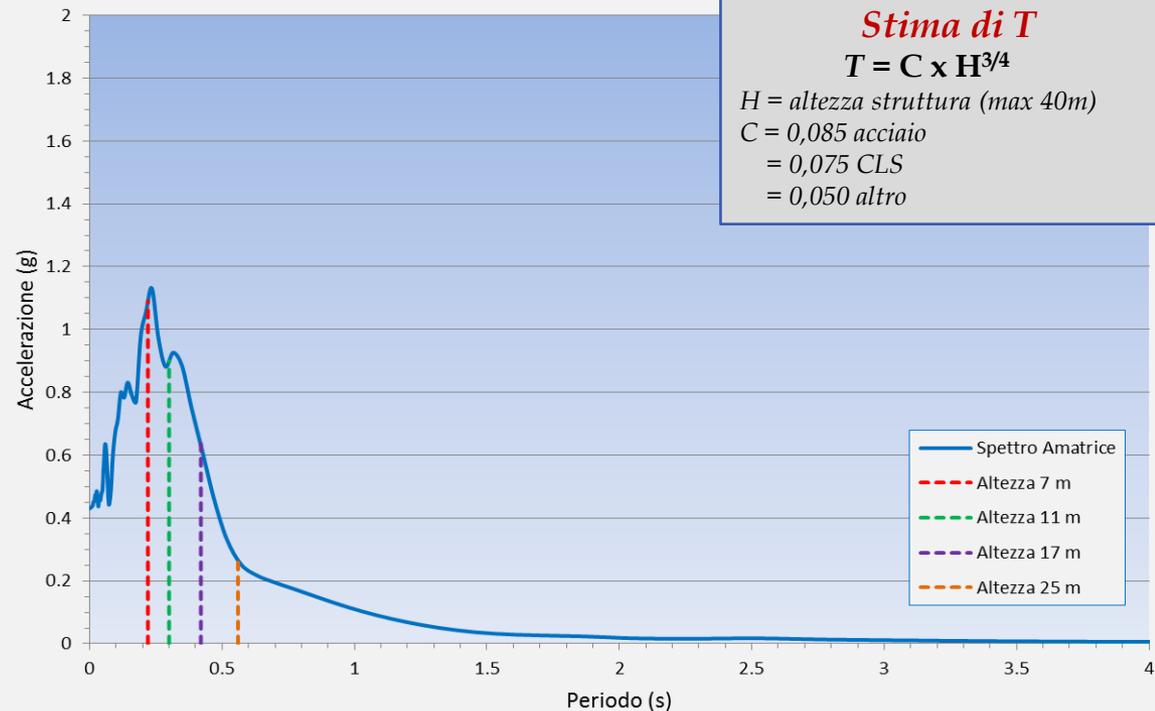


Importanza morfologia accelerogrammi



Il terremoto è selettivo, a seconda del suo contenuto spettrale colpisce di più certe strutture che altre. Ogni terremoto è diverso dagli altri

STIMA DELLA FREQUENZA CARATTERISTICA DEGLI EDIFICI CON FORMULE EMPIRICHE E CONFRONTO CON LO SPETTRO ELASTICO IN ACCELERAZIONE ESEMPIO 1 – BACK ANALYSIS - AMATRICE



Il terremoto è selettivo, a seconda del suo contenuto spettrale colpisce di più certe strutture che altre. Ogni terremoto è diverso dagli altri

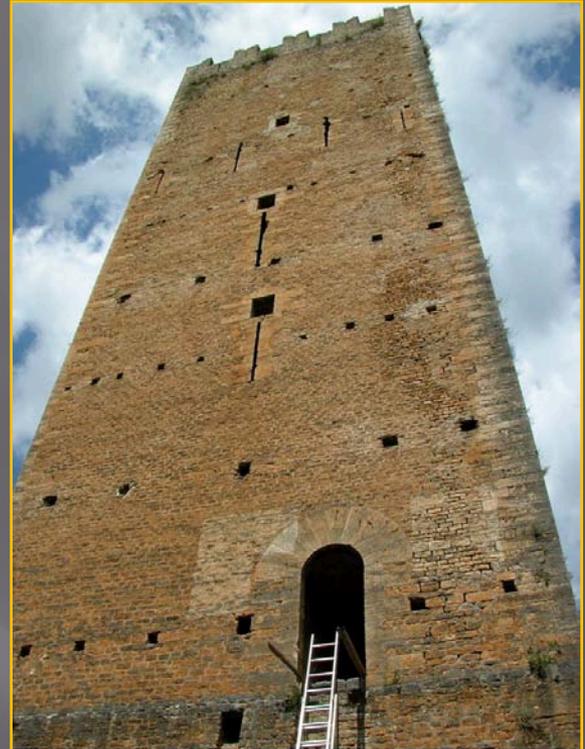
STATO DELL'ARTE

**R.S.L. + ANALISI DINAMICA
STRUTTURA**

LA TORRE DI NINFA

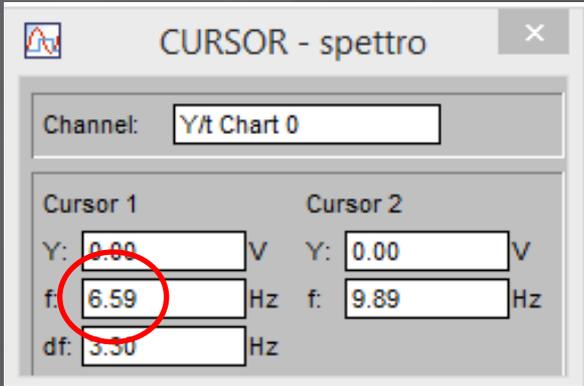
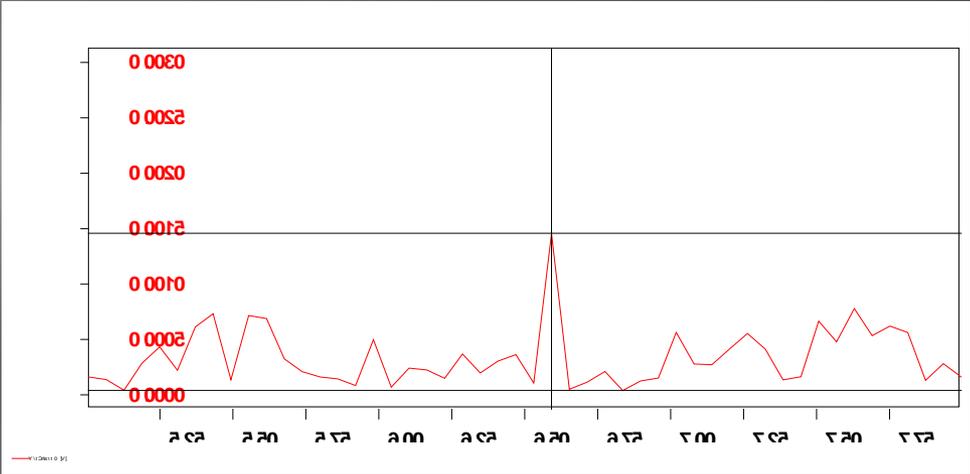


STUDIO DELLA VULNERABILITA' SISMICA DELLA TORRE DI NINFA (P. Friello – F. Aucone)



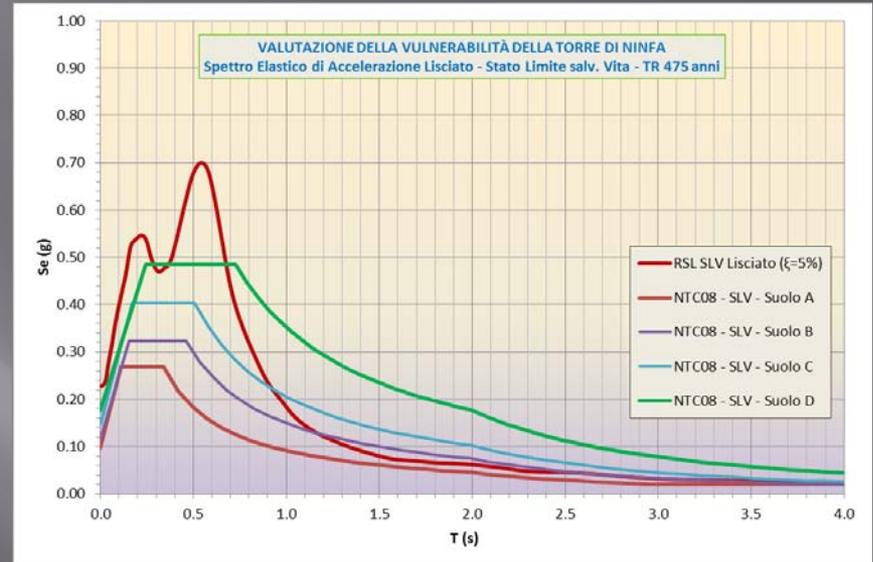
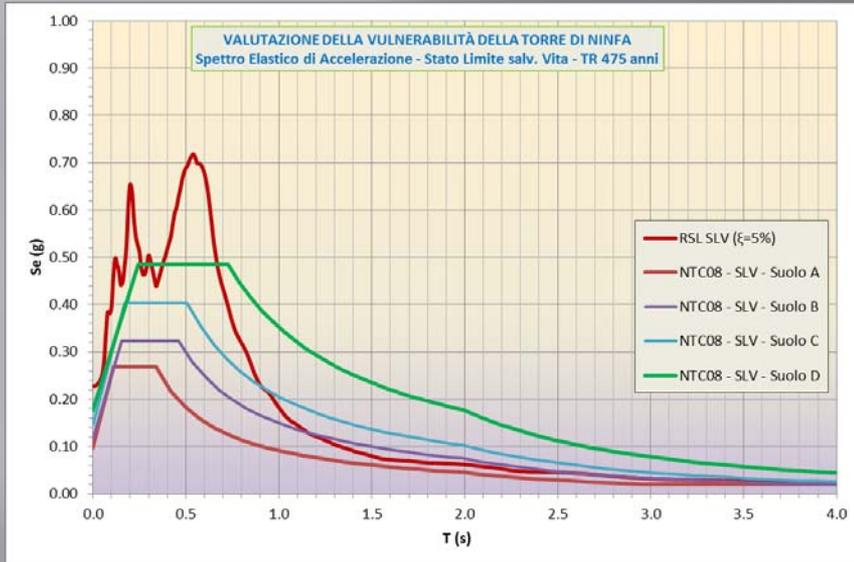
Turbina della centrale idroelettrica all'interno del Giardino: la macchina è della seconda metà dell'800, acquistata dalla Famiglia Caetani ai primi del '900, installata ed in funzione dal 1908, tuttora in funzione.

**Compie circa 400 giri/min, corrispondenti a circa 6,6 Hz
Riscontrati sulla Torre, sulle misure di sismica passiva nei dintorni della torre e direttamente con un accelerometro sulla turbina stessa**



STUDIO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Stadio Limite di salvaguardia Vita (SLV) – TR 475 anni



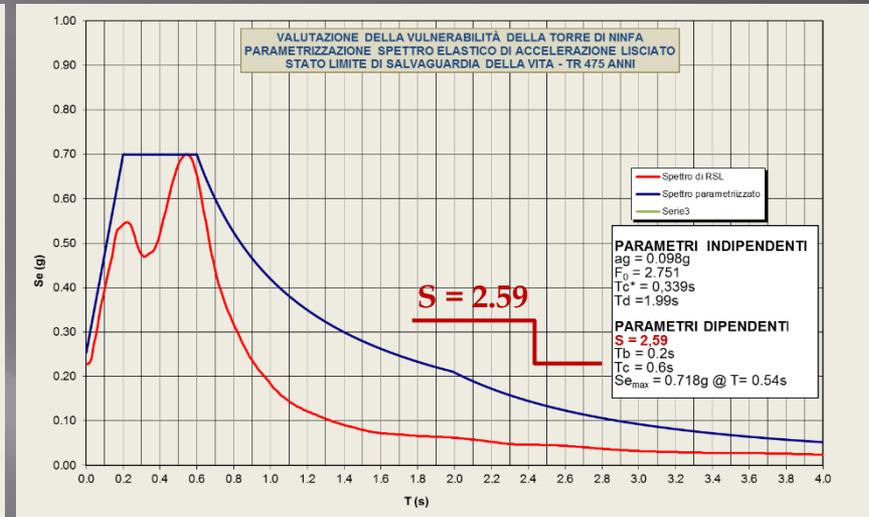
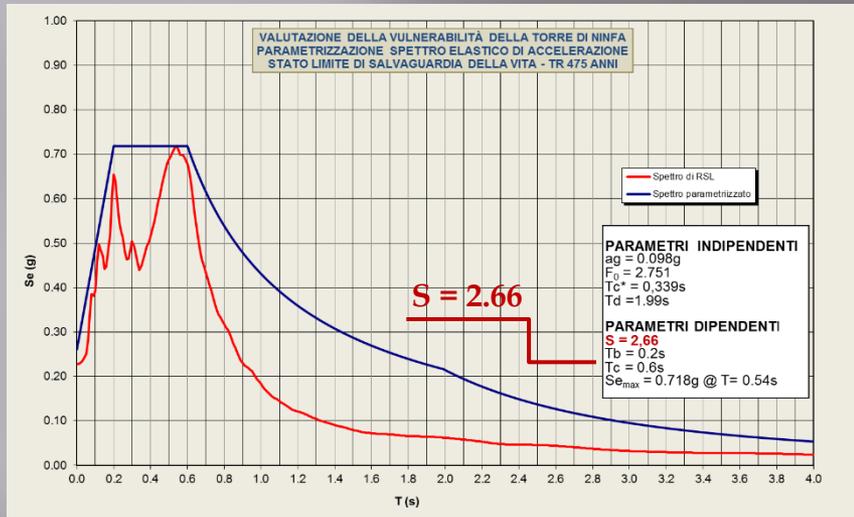
Amax =	0.654	g
PERIODO=	0.200	s
Freq=	5.000	Hz

Amax =	0.547	g
PERIODO=	0.220	s
Freq=	4.545	Hz

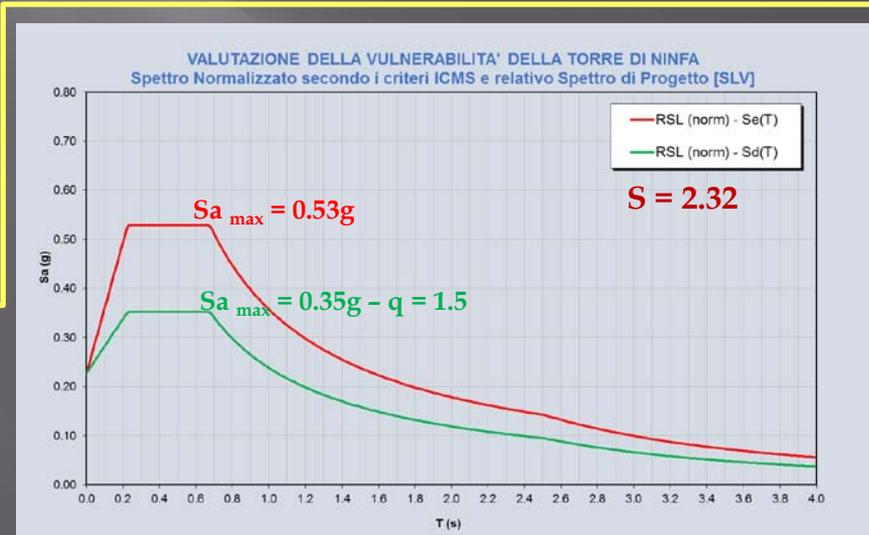
Amax =	0.718	g
PERIODO=	0.540	s
Freq=	1.852	Hz

Amax =	0.699	g
PERIODO=	0.540	s
Freq=	1.852	Hz

PARAMETRIZZAZIONE SPETTRI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE (SLV)



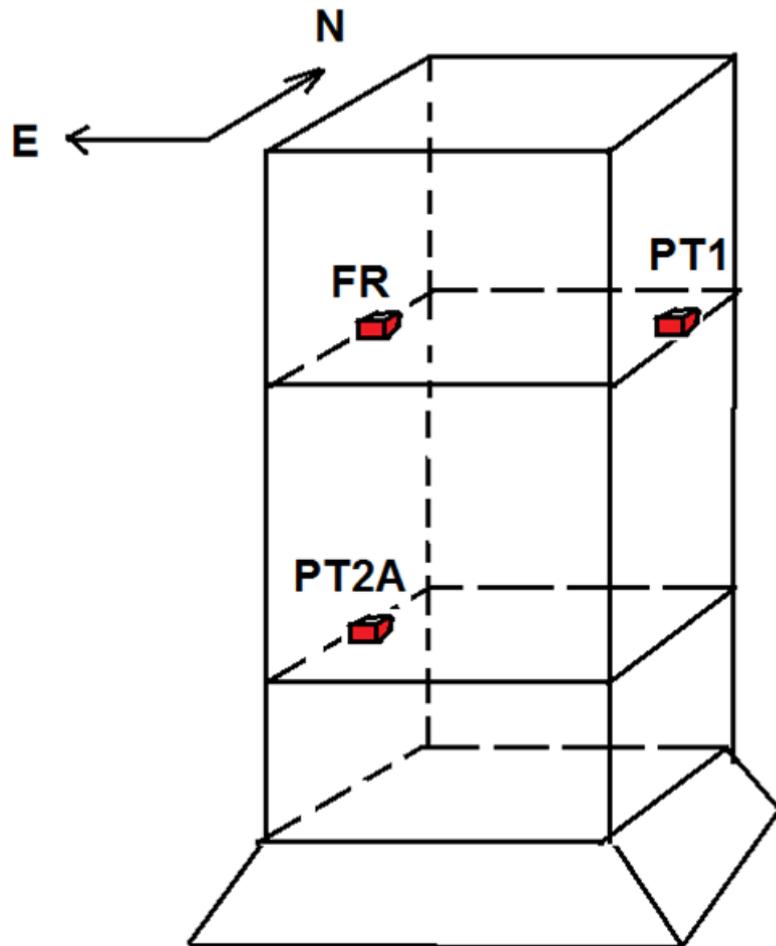
INVILUPPO TOTALE DEGLI SPETTRI



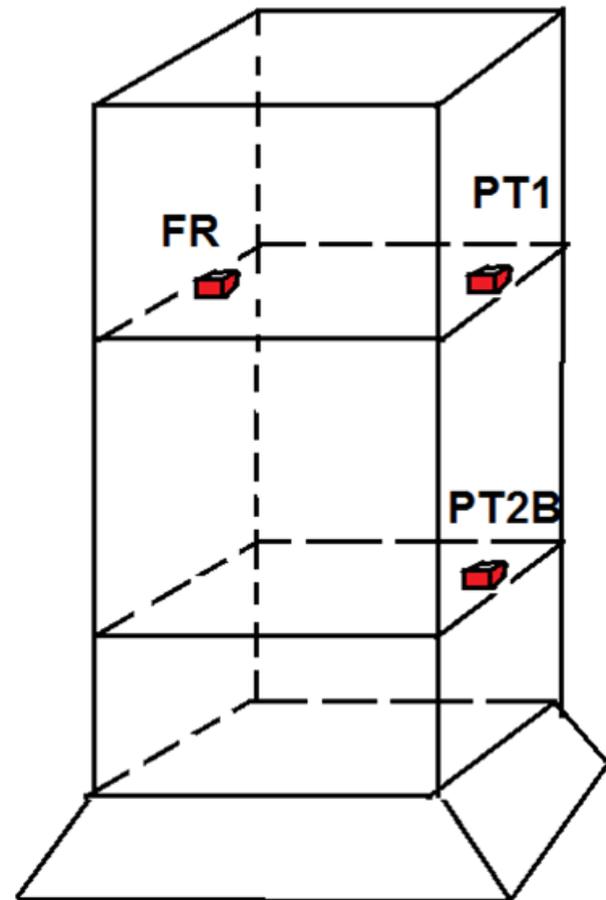
PARAMETRIZZAZIONE SECONDO I CRITERI ICMS

MISURE E DISPOSIZIONE DEI SENSORI GEOFONICI TRIASSIALI

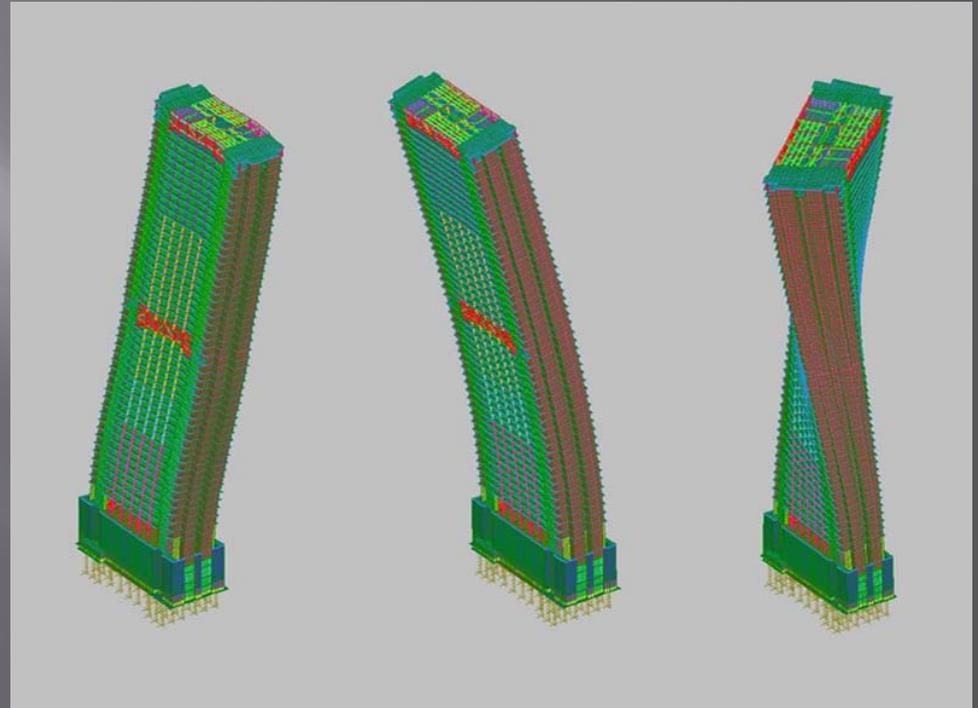
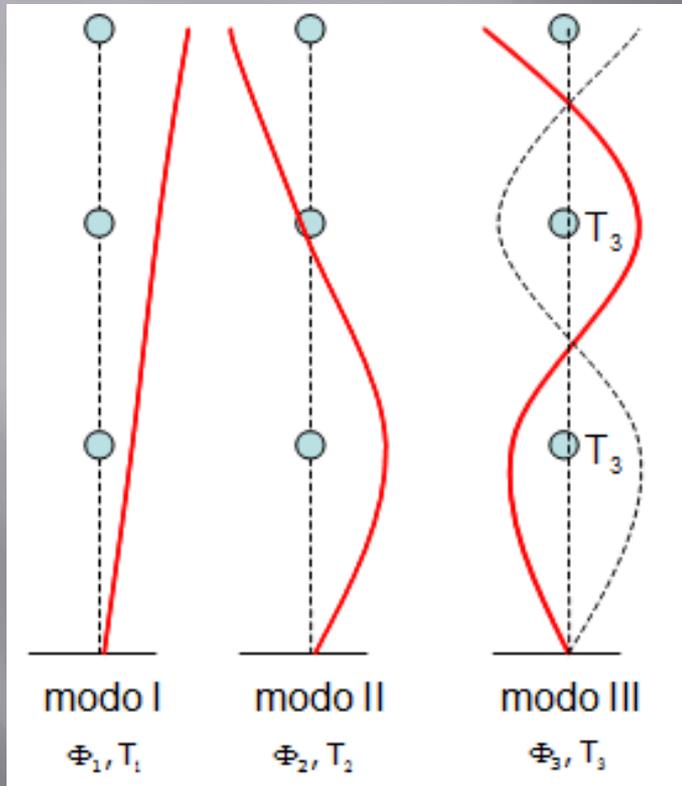
1a misura sincrona



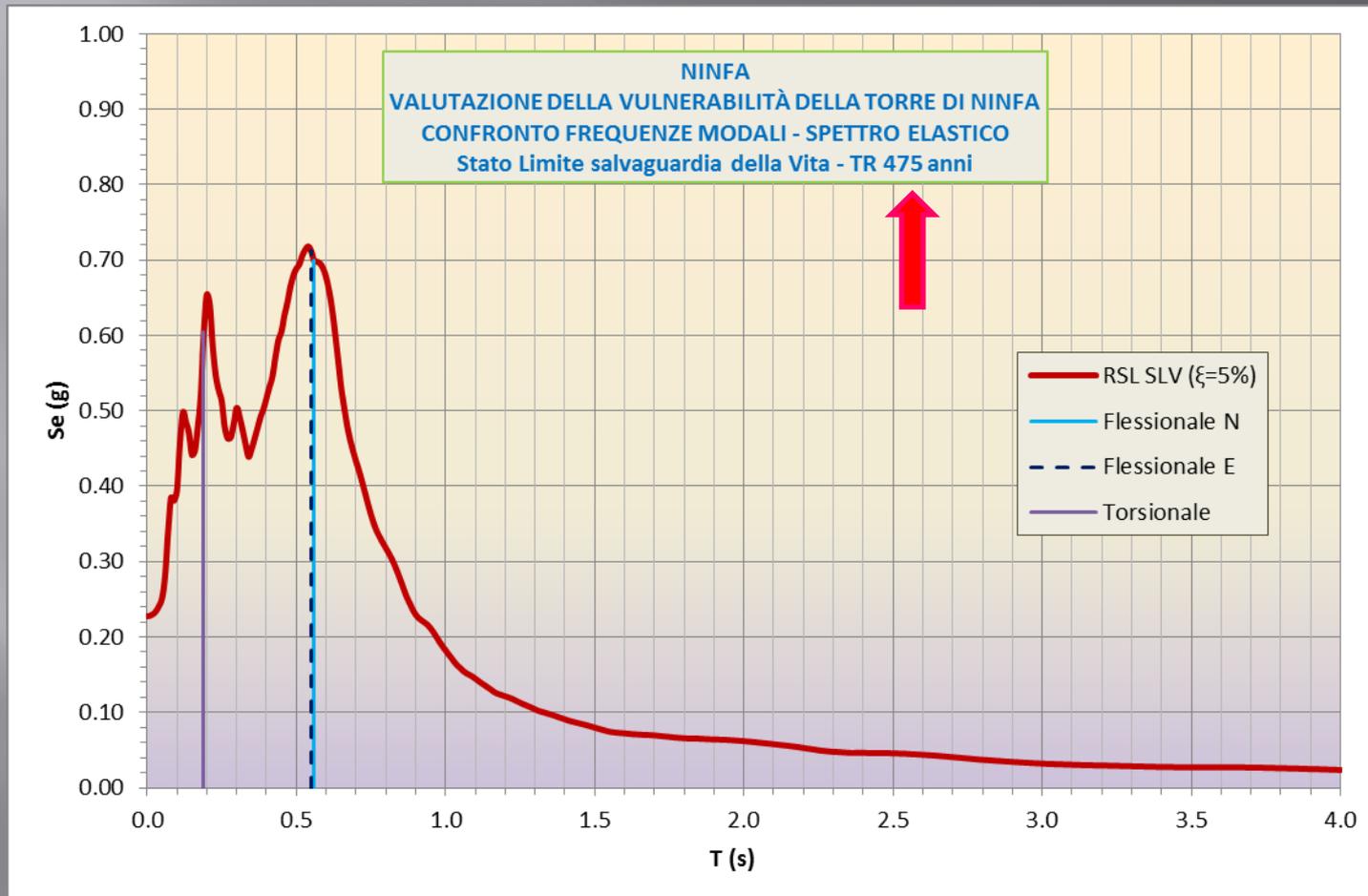
2a misura sincrona



Forma modale

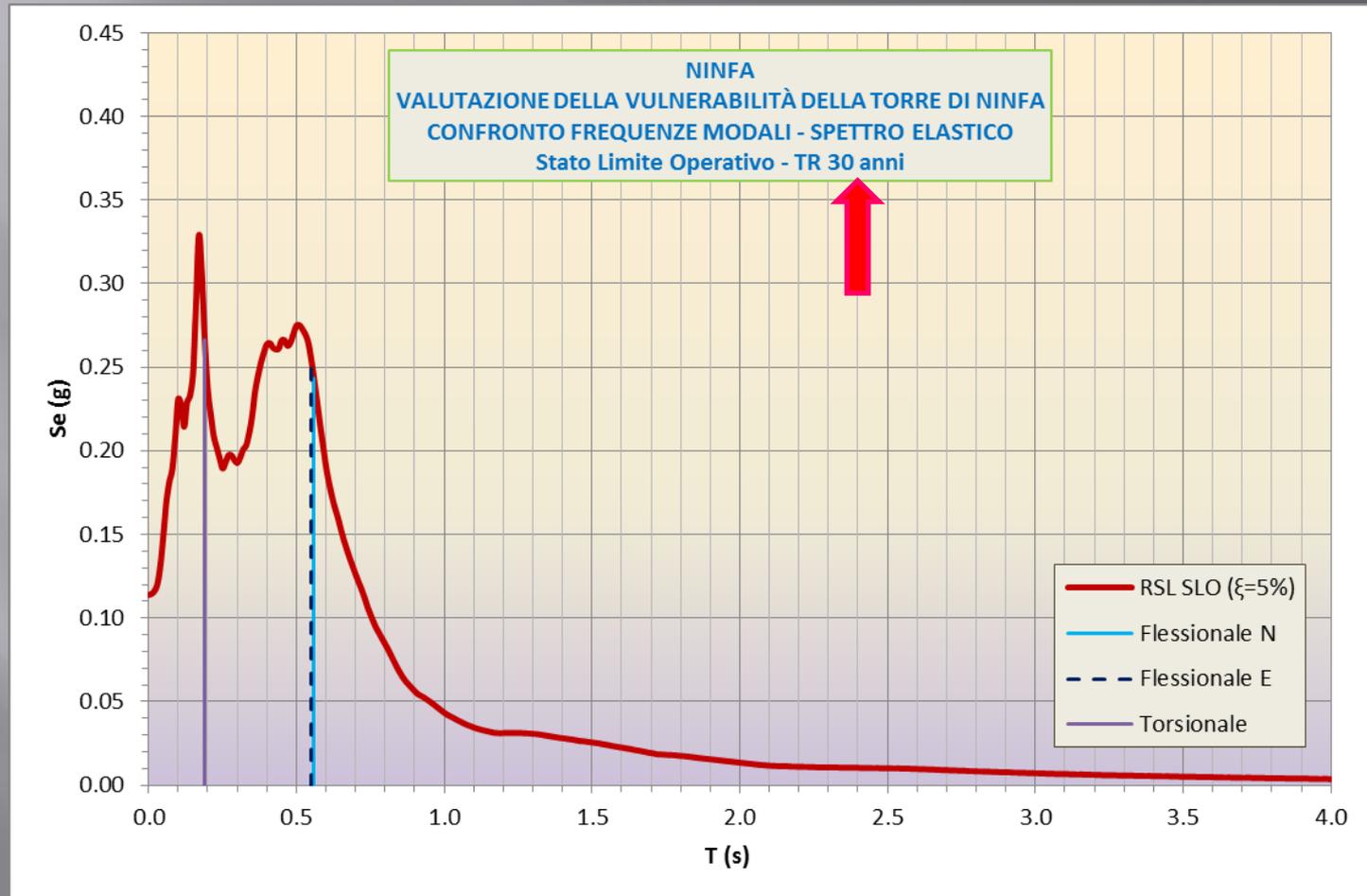


CONFRONTO FREQUENZE MODALI – SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO (SLV)



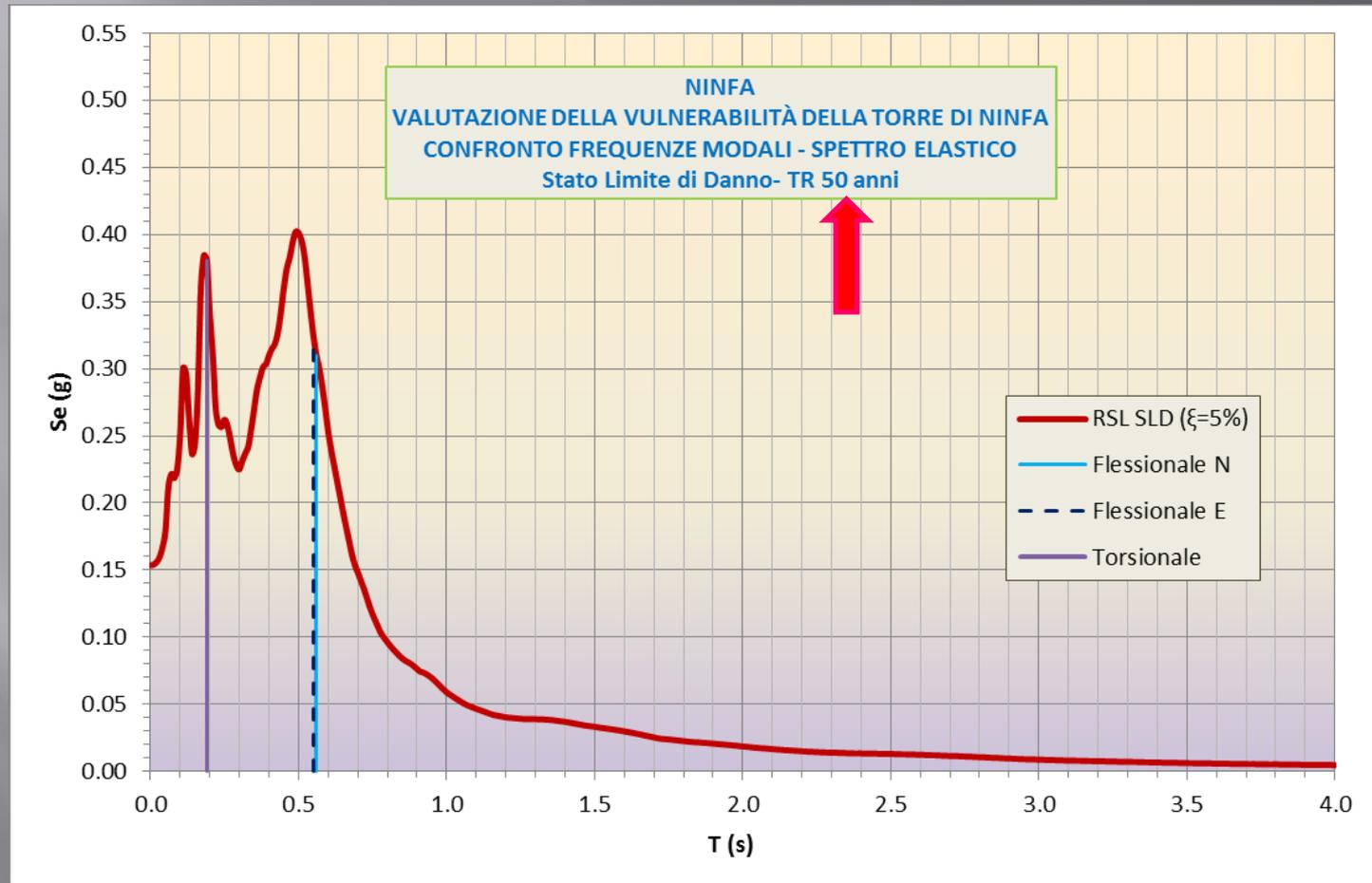
LSR2D	F (Hz)	T (s)	Acc (g)
Flessionale N	1.79	0.56	0.699
Flessionale E	1.82	0.55	0.712
Torsionale	5.26	0.19	0.605

CONFRONTO FREQUENZE MODALI – SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO (SLO)



LSR2D	F (Hz)	T (s)	Acc (g)
Flessionale N	1.79	0.56	0.243
Flessionale E	1.82	0.55	0.255
Torsionale	5.26	0.19	0.266

CONFRONTO FREQUENZE MODALI – SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO (SLD)



LSR2D	F (Hz)	T (s)	Acc (g)
Flessionale N	1.79	0.56	0.310
Flessionale E	1.82	0.55	0.325
Torsionale	5.26	0.19	0.381

CONCLUSIONI

Nelle zone a bassa sismicità, ma con particolari assetti geologici, l'approccio semplificato può non essere sufficiente per la valutazione delle sollecitazioni sismiche.

Lo studio di RSL eseguito per la Torre di Ninfa, ha infatti mostrato accelerazioni spettrali sensibilmente superiori a quelle di riferimento per la categoria di suolo del sito (C).

Utilizzando un approccio geofisico di tipo *olistico*, con metodi flessibili, non invasivi e di moderato impegno economico, è possibile ottenere un quadro sismostratigrafico di riferimento sufficientemente solido per la successiva procedura di RSL.

I risultati ottenuti, integrati con la caratterizzazione dinamica sperimentale della struttura in studio, può fornire al progettista un quadro esaustivo per la valutazione della sua vulnerabilità sismica e per la progettazione degli interventi propedeutici alla sua tutela e conservazione.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE !!



E

